



جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila

**Ministère de l'Enseignement Supérieure
et de la Recherche Scientifique**

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté de Technologie



جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Département de GENIE CIVIL

MEMOIRE

**Présenté pour l'obtention du diplôme de
MASTER**

FILIERE : Génie Civil

SPECIALITE : Matériaux

THEME

**Effets combinés de maturation et l'ajout minéral sur les
propriétés du béton ordinaire**

**Dirigé par :
Mme.BOUALAG Saida**

**Présenté par :
CHADI Oqba**

Promotion : 2015/2016

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Je dédie ce travail,

À ma famille : ma mère et mon père

À mes amis et à tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

Remerciements

Au terme de ce modeste travail, je tiens à remercier mon

Promoteur Mme : BOUALAG SABAH

Pour son aide appréciable, sa disponibilité, et ses conseils

Fructueux qui m'ont facilité la réalisation de ce travail.

Je remercie Je remercie pareillement l'ensemble des membres du

laboratoire sur tout YAM NA BAKHTI

Je remercie ma famille et tous mes amis

Sommaire

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

ملخص

Résumé

Abstract

Introduction générale

CHAPITRE I : Généralité sur béton

I-1 Introduction:	4
I-2 Définition du béton :	4
I-3 Composition de béton:	4
I-3-1 LE Ciment:	4
I-3-1-1 Classification des ciments :	5
I-3-2 les granulats XP P 18-540:	6
I-3-2-1 Classification.....	6
I-3-2-2 Gravier:	6
I-3-2-3 Sable:.....	7
I-3-4 Les adjuvants:	8
I-4 Propriété du béton :	9
I-4-1 Propriété du béton frais :	9
I-4-2 Propriété du béton durci :	10
I-4-2-1 Résistance mécanique :	10
I-4-2-2 Retrait du béton :	12
I-4-2-3 Porosité :	12
Conclusions:	12

Sommaire

CHAPITRE II : les ajouts minéraux

II-1 Introduction :	15
II-2 Les avantages :	15
II-2-1 Avantages techniques :	15
II-2-2 Avantages économiques :	15
II-2-3 Avantages écologiques :	15
II-3 Classification des ajouts minéraux :	16
II-3-1 Les ajouts minéraux actifs :	16
II-3-1-1 La pouzzolane :	16
II-3-1-2 Fumée de silice :	17
II-3-1-3 Le laitier de haut fourneau :	19
II-3-1-4 Les cendres volantes :	20
II-3-2 Principaux ajouts minéraux inertes :	21
II-3-2-1 La poussière :	22
II-4 L'utilisation des ajouts en Algérie :	22

CHAPITRE III : la cure et l'influence de dosage de ciment

Première partie : la cure	28
III-1- Généralités sur la cure [MEM 08] :	28
III-2- Définition	29
III-3- Le rôle de la cure vis-à-vis du phénomène de dessiccation :	30
III-3-1-Les besoins de la cure :	30
III-3-2-Les différentes étapes du déroulement de la cure :	31
III-4- Les différents procédés de cure du béton :	32

Sommaire

III-5-Importance et nécessité de la cure :	34
III-5-1-La fragilité du béton frais :.....	34
III-5-2-Les défauts de cure :	36
Partie deuxième : l'influence de dosage de ciment	37
III-1 Influence du dosage en ciment	37
III-2 Influence du type de ciment	39
III-3 Influence du rapport eau/ciment (E/C).....	40
III-4 Influence du rapport granulat /ciment (G/C).....	43
CHAPITRE IV : Caractéristique des matériaux et technique expérimentale	
1 ^{ère} partie : caractéristique des matériaux	47
Introduction:	47
IV -1- Gravier:.....	47
IV -1-1- Origine:.....	47
IV -1-2- Analyse granulométrique :.....	47
IV -1-3- Masses volumiques apparentes:.....	49
IV -1-4- Masses volumiques absolues:.....	51
IV -1-5- Absorption d'eau:	52
IV -1-6- Porosités:	52
IV -1-7- La compacité :	53
IV -1-8- L'indice des vides :.....	53
IV -1-9- Teneur en eau :	53
IV -1-10- Résistance à la fragmentation:.....	53
IV -2- Sable :	54
IV -2-1- Origine du sable :.....	54
IV -2-2- Composition granulométrique :.....	54
IV -2-3- Module de finesse :.....	55

Sommaire

IV -2-4- L'équivalent de sable(NA454):	56
IV -2-5- Masse volumique (absolue) : NF P 18-555	58
IV -2-6- Masse volumique apparente : NF P 18-554.....	58
IV -2-7- Porosité : (NF P 18-554).....	59
IV -2-8- Compacité :.....	60
IV -2-9- L'indice des vides :.....	60
IV -3- Ciment :	60
IV -3-1 Caractéristiques du ciment CRS-CEM I:	61
IV -3-1 Description :.....	61
IV -3-2- Caractéristiques mécaniques et physiques du ciment utilisé :.....	61
IV -3-3- Les caractéristiques chimiques du ciment utilisé:	61
IV -4- Les adjuvants :.....	62
IV-4-1- MEDAFLOW 30:	62
IV-4-1-1- Description:.....	62
IV-4-1-2- Caractéristiques:.....	63
IV-4-1-3- Dosage :	63
IV-4- Léau de gâchage :	63
IV -5- Le laitier :.....	63
IV-6 La pouzzolane :	64
2 ^{eme} partie : Technique expérimentale	65
Introduction :	65
IV -1- La formulation des bétons :	65
IV -1-1-Méthode de formulation de Dreux- Gorisse :.....	66
IV -2- Détermination des compositions de béton utilisé (béton ordinaire) :.....	71
IV -2-1-Les quantités du Constituants de nos bétons :.....	75
IV -2-2-Préparation de mélange :	75
IV -3- Conservation des éprouvettes :.....	76
IV-4- Essai sur béton :.....	76

Sommaire

IV-4-1- Contrôle du béton à l'état frais :	76
IV-4-1-1-Essai d'affaissement au cône d'abrams "slump-test" :(NF P 18-451)...	76
IV-4-1-2- La masse volumique du béton a l'état frais :	77
IV-4-2- Contrôle du Béton à l'état durci :	77
IV-4-2-1-La masse volumique a L'état durci :.....	77
IV-4-2-2- Essai de compression (NF P 18-406).....	78
IV-4-3-Porosité : ASTM - C642	79
Conclusion :	80

CHAPITRE V : les résultats et discussions

V-1 La masse volumique	81
V-1-1 La masse volumique des bétons étudiés (B, B15%L, B15%P) conservés à l'eau et à l'air :	81
V-1-1-1 Conservation à l'eau :	81
V-1-1-2 Conservation à l'air :	82
V-1-1-3 Conservation à l'air et l'eau :	82
V-1-2 La masse volumique des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et à l'air :	83
V-1-2-1 Conservation à l'eau :	83
V-1-2-2 Conservation à l'air :	83
V-1-2-3 Conservation à l'Air et l'Eau :	84
V-1-3 La masse volumique des bétons étudiés (B350, B350+15%P, B35+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et à l'air :	84
V-1-3-1 Conservation à l'Eau :	84
V-1-3-2 Conservation à l'air :	85
V-1-3-3 Conservation à l'air et l'eau :	85
V-2 Pert de masse :	86

Sommaire

V-2-1 Pert de masse de 28jours :	86
V-2-1-1 La perte de masse des bétons étudiés (B350, B350+B15%L, B350+15%P) conservés à l'eau et à l'air :	86
V-2-1-2 La perte de masse des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et à l'air :	88
V-2-1-3 La perte de masse des bétons étudiés (B350, B350+15%P, B350+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et à l'air :	90
V-2-2 Perte de masse de 60j	92
V-2-2-1 La perte de masse des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'eau et à l'air :	92
V-2-2-2 La perte de masse des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et à l'air :	93
V-2-2-3 La perte de masse des bétons étudiés (B350, B350+15%P, B350+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et à l'air :	95
V- 3- Les résistances à la compression :	97
V-3-1 Les résistances à la compression des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'eau et à l'air :	97
V-3-1-1 Conservation à l'eau :	97
V-3-1-2 Conservation à l'air :	97
V-3-1-3 Conservation à l'air et l'eau :	98
V-3-1-4 Régime de cure :	98
V-3-1-5 Régime de cure et conservation d'eau :	99
V-3-2 Les résistances à la compression des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et à l'air :	100
V-3-2-1 Conservation à l'eau :	100
V-3-2-2 Conservation à l'air :	100
V-3-2-3 Conservation à l'air et l'eau :	101
V-3-2-4 Régime de cure :	101

Sommaire

V-3-2-5 Régime de cure et conservation d'eau.....	102
V-3-3-1 Conservation à l'eau :	103
V-3-3-2 Conservation à l'air :	103
V-3-3-3 Conservation à l'air et l'eau :	104
V-3-3-4 Régime de cure	104
V-3-3-5 Régime de cure et conservation d'eau.....	105
V-4 Porosité :.....	106
V-4-1 Porosité p% :	106
V-4-1-1 La porosité (P%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'eau et à l'air :.....	106
V-4-1-2 La porosité (P%) des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et à l'air :	108
V-4-1-3 la porosité(P%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et à l'air :.....	110
V-4-2 La porosité P, A, E%	113
V-4-2-1 La porosité (P, A, E%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'eau et à l'air :	113
V-4-2-2 La porosité (P, A, E%) des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et à l'air :	115
V-4-2-3 la porosité(P, A, E%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et à l'air :	118

Liste des tableaux et les figures

Liste des tableaux

CHAPITRE I : Généralité sur béton

Tableau I-1 : Exigences mécaniques définies en termes de valeur caractéristiques	5
Tableau I-2 : Classification suivant la granularité	6
Tableau I-3: Classe de consistance du béton.....	10

CHAPITRE II : les ajouts minéraux

Tableau II-1 : Composition chimique type de certaines fumées de silice	18
Tableau II-2 : Composition chimique type de laitiers de haut fourneau	19
Tableau II-3 : Composition chimique type de certaines cendres volantes	20

CHAPITRE III : la cure et l'influence de dosage de ciment

Tableau III-1: dosage en ciment.....	39
--------------------------------------	----

CHAPITRE IV : Caractéristique des matériaux et technique expérimentale

Tableau IV-1 : Analyse granulométrique du gravier 3/8.	48
Tableau IV-2: analyse granulométrique du gravier 8/16.....	48
Tableau IV-3: Masse volumique apparente du gravier.	50
Tableau IV -4: Masse volumique absolue du gravier.	51
Tableau V -5: Degré d'absorption d'eau du gravier.....	52
Tableau IV -6: Porosité, Compacité Et Indice Des Vides.....	53
Tableau IV -7: Teneur en eau du gravier.	53
Tableau IV-8 : Coefficient des los Angeles des graviers	54
Tableau IV -9 : Analyse granulométrique du sable d'oued (Oued Maitre).....	54
Tableau IV -10: Équivalent du sable de Boussaâda.....	58
Tableau IV -11: Masse volumique absolue du sable de Boussaâda.....	58
Tableau IV -12 : Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état lâche.	59

Liste des tableaux et les figures

Tableau IV -13: Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état compact.	59
Tableau IV-14 : la porosité, la compacité et l'indice de vide Pour le sable de Boussaâda.	60
Tableau IV-15 : Caractéristiques du CRS.au laboratoire de cimenterie d'Ain El Kebira. Sétif	61
Tableau IV-16:Caractéristiques chimiques du CRS.....	61
Tableau IV-17:Caractéristiques minéralogique du CRS.....	61
Tableau IV-18 : Caractéristiques du MEDAFLOW 30.....	62
Tableau IV-19 : la qualité du laitier	63
Tableau IV-20 : Les compositions chimiques du laitier.....	63
Tableau IV-21 : la masse volumique absolue	64
Tableau IV-22 : Caractéristiques physiques de la pouzzolane.....	64
Tableau IV-23 : Composition chimique de la pouzzolane	64
Tableau IV-24: Valeurs approximatives du coefficient granulaire	66
Tableau IV-25:Correction du dosage en eau selon le diamètre, D du mélange granulaire.....	68
Tableau IV-26: Valeur correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de la vibration et de l'angularité des granulats.	70
Tableau IV-27: La composition d'un 1m ³ de béton ordinaire C=350kg.Af=8.....	73
Tableau IV-28: La composition d'un 1m ³ de béton ordinaire C=350kg+ Laitier (15%).Af=8	73
Tableau IV-29: La composition d'un 1m ³ de béton ordinaire C=350kg +Pouzzolane (15%).Af=8	73
Tableau IV-30: La composition d'un 1m ³ de béton ordinaire C=450kg.Af=8.....	74
Tableau IV-31: La composition d'un 1m ³ de béton ordinaire C=450kg + Laitier (15%).Af=8	Erreur ! Signet non défini.
Tableau IV-32: La composition d'un 1m ³ de béton ordinaire C=450kg+ Pouzzolane (15%).Af=8	74
Tableau IV-33 : les quantités des constituants du béton témoin étudié	75
Tableau IV-34 : appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône.....	76

Liste des figures

CHAPITRE I : Généralité sur béton

Figure I-1 : Fuseau de spécification Russe des graviers	7
Figure I-2 : Fuseaux proposés pour la granularité des sables à béton	8

CHAPITRE III : la cure et l'influence de dosage de ciment

Figure III-1: Evolution de l'évaporation suivant le mode cure.	31
Figure III-2: Influence du vent sur le retrait plastique.	32
Figure III-3 : Différentes étapes de la cure des bétons pour des opérations de construction sous des conditions idéales.	33
Figure III-4: Pulvérisation du produit de cure à la surface du béton.	34
Figure III-5: Maintien des coffrages en place Recouvrant la surface du béton.	35
Figure III-6 : Evolution de la pâte interstitielle du béton frais	36
Figure III-7 : Evolution de la capacité de déformation en atmosphère humide	36
Figure III-8 : Fissure de retrait de plastique.	37
Figure III-9 : Modèle de POWERS (<i>a</i>)	38
Figure III-10 : Influence du dosage en ciment sur la résistance à la compression au jeune âge du béton	38
Figure III-11: influence du type de ciment sur la résistance à la compression à court terme ...	40
Figure III-12: Relation entre la résistance à la compression à 28 jours et le rapport eau/ciment	41
Figure III-13 : Relation entre la résistance à la compression et le rapport C/E	42
Figure III-14: Relation entre la résistance calculée d'une pate pure de ciment et le rapport C/E	42
Figure III-15: la relation entre C/E et la résistance à la compression (f_c) d'après la formule de Bolomey	43
Figure III-16: influence du rapport G/C sur la résistance du béton.	44

Liste des tableaux et les figures

Figure III-17: la relation entre la résistance à la compression de cylindres de béton (10x30 cm) et le volume de granulats pour un rapport E/C constant de 0,5..... 45

CHAPITRE IV : Caractéristique des matériaux et technique expérimentale

Figure IV-1 : La courbe granulométrique des graviers (3/8). 49

Figure IV -2 : La courbe granulométrique des graviers (8/16). 49

Figure IV -3: La courbe granulométrique du sable (0/5). 55

Figure IV -4: Courbes granulométriques des granulats 55

Figure IV-5 : L'essai l'équivalent de sable 57

Figure IV-6 : Dosage approximatif en ciment en fonction 67

de C/E et de l'ouvrabilité désirée..... 67

Figure IV-7 : presse hydraulique de compression..... 78

Figure IV-8 poids à l'eau immersion et ébullition (g). 79

CHAPITRE V : les résultats et discussions

Figure V-1 : La masse volumique des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'eau 81

Figure V-2 : La masse volumique des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'air..... 82

Figure V-3 : La masse volumique des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'eau et à l'air 82

Figure V-4 : La masse volumique des bétons étudiés (B+450, B+45015%L, B+45015%P) conservés à l'eau 83

Figure V-5 : La masse volumique des bétons étudiés (B+450, B+45015%L, B+45015%P) conservés à l'air..... 83

Figure V-6 : La masse volumique des bétons étudiés (B+450, B+45015%L, B+45015%P) conservés à l'eau et à l'air 84

Figure V-7 : La masse volumique des bétons étudiés 84

Liste des tableaux et les figures

(B350, B350+15%P, B35+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau	84
Figure V-8 : La masse volumique des bétons étudiés	
(B350, B350+15%P, B35+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'air	85
Figure V-9 : La masse volumique des bétons étudié	
(B350, B350+15%P, B35+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et à l'air	85
Figure V-10 : La perte masse des bétons étudiés (B350, B350+B15%L, B350+15%P) conservés à l'eau de 28 jours.....	86
Figure V-11 : La perte de masse des bétons étudiés (B350, B350+B15%L, B350+15%P) conservés à l'air de 28 jours.....	87
Figure V-12 : La perte de masse des bétons étudiés (B350, B350+B15%L, B350+15%P) conservés à l'eau et à l'air de 28 jours	87
Figure V-13 : La perte de masse des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau de 28 jours.....	88
Figure V -14 : La perte de masse des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'air de 28 jours	88
Figure V-15 : La perte de masse des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et l'air de 28 jours	89
Figure V-16 : La perte de masse des bétons étudiés (B350, B350+15%P, B350+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau de 28 jours	90
Figure V-17 : La perte de masse des bétons étudiés (B350, B350+15%P, B350+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'air de 28 jours.....	90
Figure V-18 : La perte de masse des bétons étudiés (B350, B350+15%P, B350+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et l'air de 28 jours	91
Figure V-19 : La perte de masse des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'eau de 60 jours.....	92
Figure V-20 : La perte de masse des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'air de 60 jours.....	92

Liste des tableaux et les figures

Figure V-21 : La perte de masse des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'eau et à l'air de 60 jours	93
Figure V-22 : La perte de masse des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau de 60 jours.....	93
Figure V-23 : La perte de masse des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'air de 60 jours	94
Figure V-24 : La perte de masse des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et à l'air de 60 jours.....	94
Figure V-25 : La perte de masse des bétons étudiés (B350, B350+15%P, B350+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau de 60 jours	95
Figure V-26 : La perte de masse des bétons étudiés (B350, B350+15%P, B350+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'air de 60 jours	95
Figure V-27 : La perte de masse des bétons étudiés (B350, B350+15%P, B350+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et à l'air de 60 jours.....	96
Figure V-28 : la résistance à la compression conserver à l'eau de (B350, B350+15%L, B350+15%P)	97
Figure V-29 : la résistance à la compression conserver à l'air de (B350, B350+15%L, B350+15%P)	97
Figure V-30 : la résistance à la compression conserver à l'air et l'eau de (B350, B350+15%L, B350+15%P)	98
Figure V-31 : la résistance à la compression du cure de (B350, B350+15%L, B350+15%P)	98
Figure V-32 : la résistance à la compression du cure et l'eau de (B350, B350+15%L, B350+15%P)	99
Figure V-33 : la résistance à la compression conserver à l'eau de (B450, B450+15%L, B450+15%P)	100
Figure V-34 : la résistance à la compression conserver à l'air de (B450, B450+15%L, B450+15%P)	100
Figure V -35 : la résistance à la compression conserver à l'air et l'eau de (B450, B450+15%L, B450+15%P)	101

Liste des tableaux et les figures

Figure V-36 : la résistance à la compression de la cure de (B450, B450+15%L, B450+15%P)	101
Figure V-37 : la résistance à la compression de la cure et l'eau de (B450, B450+15%L, B450+15%P)	102
Figure V-38 : la résistance à la compression de l'eau de (B350, B350+15%P, B350+15%L, B450+, B450+15%L, B450+15%P)	103
Figure V-39 : la résistance à la compression de l'eau de (B350, B350+15%P, B350+15%L, B450+, B450+15%L, B450+15%P)	103
Figure V-40 : la résistance à la compression de l'eau et l'air de (B350, B350+15%P, B350+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P).....	104
Figure V-41 : la résistance à la compression de la cure de (B350, B350+15%P, B350+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P).....	104
Figure V-42 : la résistance à la compression de la cure et l'eau de (B350, B350+15%P, B350+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P).....	105
Figure V-43 La porosité (p%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'eau	106
Figure V-44 La porosité (p%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'air.....	106
Figure V-45 La porosité (p%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'eau et l'air.....	107
Figure V-46 La porosité (P %) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'eau régime de cure.....	107
Figure V-47 La porosité (p%) des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P)..... conservés à l'eau	108
Figure V-48 La porosité (p%) des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'air.....	109
Figure V-49 La porosité (p%) des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et l'air.....	109
Figure V-50 La porosité (P %) des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau régime de cure.....	110

Liste des tableaux et les figures

Figure V-51 La porosité (p%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau	111
Figure V-52 La porosité (p%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'air	111
Figure V-53 La porosité (p%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et l'air	112
Figure V-54 La porosité (P %) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau régime de cure	112
Figure V-55 La porosité (P, A, E%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'eau	113
Figure V-56 La porosité (P, A, E%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'air.....	114
Figure V-57 La porosité (P, A, E%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'eau et l'air.....	114
Figure V-58 La porosité (P, A, E%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'eau régime de cure.....	115
Figure V-59 La porosité (P, A, E%) des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau	116
Figure V-60 La porosité (P, A, E%) des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'air.....	116
Figure V-61 La porosité (P, A, E%) des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et l'air.....	117
Figure V-62 La porosité (P, A, E%) des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau régime de cure.....	117
Figure V-63 La porosité (P, A, E%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau	118
Figure V-64 La porosité (P, A, E%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'air.....	119
Figure V-65 La porosité (P, A, E%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et l'air.....	119

Liste des tableaux et les figures

Figure V-66 La porosité (P, A, E%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau régime de cure	120
---	-----

ملخص:

خصائص الخرسانة ، استنادا إلى الرابط الهيدروليكي ، يعتمد بالطبع على طبيعة و نسب المكونات ولكن أيضا في ظروف الحفظ التي تحدد إلى حد كبير على التقدم الإماهة .

إذا نقصت المياه ، الرابط تباطأ أو توقف ، تتغير الخواص الميكانيكية للخرسانة التي لم تكتمل. دور العلاج هو الحفاظ على ترطيب كاف بحيث يتم التوصل إلى الخصائص المطلوبة .

والهدف من هذا العمل وضع قاعدة محددة لأنواع مختلفة من الإضافات ونسبة عينات الأسمنت المحلية يتم إعدادها في مواضع مختلفة للحفظ . يتم دراسة خصائص الفيزيائية الميكانيكية مع المقارنة

الكلمات المفتاح: المعالجة , الخرسانة الاسمنت الإضافات.

Résumé :

Les caractéristiques du béton, à base de liant hydraulique, dépendent certes de la nature et des proportions des constituants mais aussi des conditions de conservation qui déterminent dans une large mesure le déroulement des réactions d'hydratation.

Si par manque d'eau, L'hydratation du liant ralenti ou s'arrête, l'évolution des caractéristiques mécaniques du béton inachevée. Le rôle de la cure est de maintenir une l'hydratation suffisante de telle sorte que les propriétés désirées soient atteintes.

L'objectif de ce travail l'élaboration d'un béton à base des différents types de d'ajouts et pourcentage, ciments locaux .des éprouvettes seront préparées sous différents mode de conservation. Les propriétés physico-mécaniques seront comparés est étudiées.

Mots Clé :

la cure , béton, ciments, ajouts

Abstract:

The characteristics of concrete, based on a hydraulic binder, of course depend on the nature and proportions of the components but also the preservation conditions which determine in large measure the progress of hydration reactions.

If a lack of water, hydration of the binder slowed or stopped, changing mechanical properties of unfinished concrete. The role of the treatment is to maintain a sufficient hydration so that the desired properties are reached.

The aim of this work to develop a concrete base to the different types of additions and percentage .Des local cement specimens are prepared under different conservation mode. The physico- mechanical properties will be compared is studied.

Key words: the cure, concrete, cement, additions

Chapitre 01

Généralité sur béton

Chapitre 02

les ajouts minéraux

Chapitre 03

La cure et dosage de ciment

Chapitre 04

Caractéristique des matériaux et les essais

Chapitre 05

Les résultats et discussions

Introduction générale

Introduction générale :

Le béton est le matériau le plus utilisé dans les constructions à travers le monde. En effet, sa rapidité de fabrication, sa mise en place, son faible cout et ses performances mécaniques ainsi que sa durabilité ont contribué à accroître son utilisation pour tous les ouvrages, comme des immeubles de bureaux ou d'habitation, des ponts, des centrales nucléaires, ...

La crise d'énergie qu'a connue le monde à la fin des années 70 et au début des années 80 a donné un élan considérable à la production et l'utilisation des ciments composés. On déploie des efforts énormes pour la conservation de ressources et l'épargne d'énergie grâce à l'emploi de matériaux qui réduisent considérablement l'utilisation d'énergie, comme les cendres volantes, le laitier, les fumées de silice condensées et la pouzzolane. Le laitier granulé, résidu de la production de fonte en haut fourneau, constitue le matériau le plus intéressant par comparaison avec les autres produits de remplacement du ciment qui exigent une moins grande dépense d'énergie, et la pouzzolane est un roche naturelle joue le même rôle de laitier .

Il fait également l'objet de notre étude montre l'ampleur de l'effet de la cure et du dosage de ciment sur les propriétés physiques et chimiques du béton, comme la résistance mécanique et la porosité

La cure se définit comme l'ensemble des traitements appliqués au béton pour éviter le départ prématuré de l'eau (la dessiccation) au cours des premières heures de durcissement.

L'objectif d'une cure est de conserver le béton dans des conditions climatiques telles que l'espace inter granulaire de la pâte fraîche (pores capillaires) soit au maximum rempli par les produits d'hydratation.

Et le dosage de ciment dans cette étude $C = 350 \text{ Kg/m}^3$ et $C = 450 \text{ Kg/m}^3$

Les objectifs visés par ce sujet est Effet combinées de la maturation et l'ajout minéral sur les propriétés des bétons ordinaire. On applique un régime de cure sur des bétons différents dosage de ciment avec on Minéraux

Structure du mémoire :

Notre mémoire est structuré en 5 chapitres comme suit :

Introduction générale

Introduction générale

1^{er} Chapitre : Généralité sur le béton :

Définition de béton

Composition de béton

2^{ème} Chapitre : Les ajouts minéraux :

Classification des ajouts minéraux

Influence des ajouts sur les performances mécaniques

3^{ème} : la cure et le dosage de ciment :

Généralités sur la cure

Dosage de ciment

4^{ème} Chapitre: Caractéristiques des matériaux utilisés :

Les matériaux : sable, gravier, ciment, laitier, pouzzolane, adjuvant, eau de gâchage.

5^{ème} Chapitre : Résultats et Analyses.

Conclusion générale

Chapitre 01 : Généralité sur béton.

I-1 Introduction:

Le béton est l'un des matériaux les plus importants et les plus utilisés dans tous les domaines de la construction. Ceci s'explique par les faits suivants :

- Facilite de façonnage et la mise en œuvre.
- Possibilité de varier les propriétés du béton, avec de larges limites en utilisant des composants aux qualités correspondantes et en appliquant des méthodes spéciales de traitement mécanique et physico - chimique.
- Possibilité de mécanisation totale des travaux de bétonnage.
- Les qualités économiques du béton car 80% à 90% de son volume est composé d'agrégat d'origine locale.[1]

I-2 Définition du béton :

Le béton est le matériau obtenu en solidarifiant, par une pâte liante de ciment, un squelette granulaire composé d'un ou plusieurs sables, et d'un ou plusieurs graviers.

Comme le liant a des propriétés hydrauliques, ces bétons sont aussi appelés bétons hydrauliques. .[1]

I-3 Composition de béton:

Le béton est un matériau hétérogène dont les caractéristiques physico-chimiques et résistance mécaniques des divers constituants sont différentes. Composé essentiellement de granulats(gravier, sable et filler), de ciment, d'eau de gâchage et d'adjuvants pour améliorer ou acquérir certaines caractéristiques ou propriétés pour faire face à des situations bien définies. Chacun de ses composants joue un rôle bien précis dans le mélange. .[1]

I-3-1 LE Ciment:

C'est un liant minéral obtenu par décarbonatation d'un calcaire et décomposition d'une argile à une température avoisinant les 1450 °C. broyés sous forme d'une poudre fine souvent d'une couleur grise, en contact avec l'eau il s'hydrate et forme des minéraux hydratés très stables. Les principaux composés du ciment portland sont :

- Les silicates tricalciques (alite) : $3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$ [C3S]
- Les silicates bis calciques (belite) : $2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$ [C2S]
- Les aluminates tricalciques : $3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ [C3A]
- Les aluminoferrites tétra calciques : $4 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ [C4AF]

- Autres : (sulfates, alcalins, impuretés. . .).

Les silicates de calcium C3S et C2S représentent à peu près 75% de la masse du ciment. Les caractéristiques granulaires du ciment sont exprimées par sa granulométrie et sa finesse de mouture. Cette finesse de mouture appelée aussi surface spécifique de Blaine peut atteindre 4000 cm²/g et plus pour les ciments à forte résistance au jeune âge. [02]

I-3-1-1 Classification des ciments :

a- Classification suivant la composition :

Selon la teneur des constituants autres que le gypse ajouté ou non au clinker, la norme européenne NF EN 197-1 donne 27 ciments courants, qui sont regroupés en cinq types principaux à savoir :

- CEM I Ciment Portland Artificiel;
- CEM II Ciment Portland composé;
- CEM III Ciment de haut fourneau;
- CEM IV Ciment pouzzolanique;
- CEM V Ciment aux laitiers et aux cendres.

b- Classification des ciments suivant les résistances à la compression:

La norme européenne NF EN 197-1 classe les ciments courant d'après leur résistance à la compression (résistance normale) déterminée conformément à la norme EN 196-1, mesurée à 28 jours en six classes de résistance. [03]

Classe de résistance	Résistance à la compression (MPa)			
	Résistance à court terme		Résistance courante	
	2 jours	7 jours	28 jours	
32,5 N	—	> 16.0	> 32.5	< 52.5
32,5 R	> 10.0	—		
42,5 N	≥ 10,0	—	> 42.5	< 62.5
42,5 R	> 20.0	—		
52,5 N	> 20.0	—	> 52.5	—
52,5 R	> 30.0	—		

Tableau I-1 : Exigences mécaniques définies en termes de valeur caractéristiques [03]

I-3-2 les granulats XP P 18-540:

On appelle granulat, tout matériau inerte provenant de l'érosion des roches ou de leur concassage, utilisé dans la construction, et entrant dans la composition des mortiers et bétons.[4]

N.B: un granulat est dit lourd lorsque sa densité est supérieure à 1, et léger dans le cas contraire.

I-3-2-1 Classification

D'après leur provenance ou leur fabrication on distingue :

a-Granulats naturels: utilisés directement sans aucun traitement mécanique

b-Granulats Artificiels ils se procèdent de :

- Sous-produits industriels allèges
- Granulats élaborés Industriellement
- Granulats ou frottage

Fines	0 / D	avec	D = 0.08 mm
sable	0 / D	avec	D = 6.3 mm
Gravier	d / D	avec	d = 2mm et D = 31.5 mm
Cailloux	d / D	avec	d = 20mm et D = 80mm
Graves	d / D	avec	d = 6.3 mm et D = 80mm

Tableau I-2 : Classification suivant la granularité (NF P 18-101)

I-3-2-2 Gravier: .[4]

On appelle " gravier " l'accumulation de grain de 5 à 70mm formes par la destruction naturelle des roches .tandis que la pierre concassée (gravier concassée) est obtenu par broyage des roches massives

a-Granularité du gravier

La granulométrie conditionne la porosité du mélange si tous les grains la même dimension on aurait une porosité maximale, s'ils étaient repartis suivant une courbe discontinue on pouvait avoir une porosité minimale qui assurerait un béton plus compact

La courbe granulométrique de chaque fraction ou d'un mélange de plusieurs fractions doit se situer dans les limites appelées "fuseaux de spécification ", on distingue le fuseau français, russe, anglais...etc. selon les normes de l'ex – URSS, le fuseau de spécification du gravier est présente sur fig.(I-1)

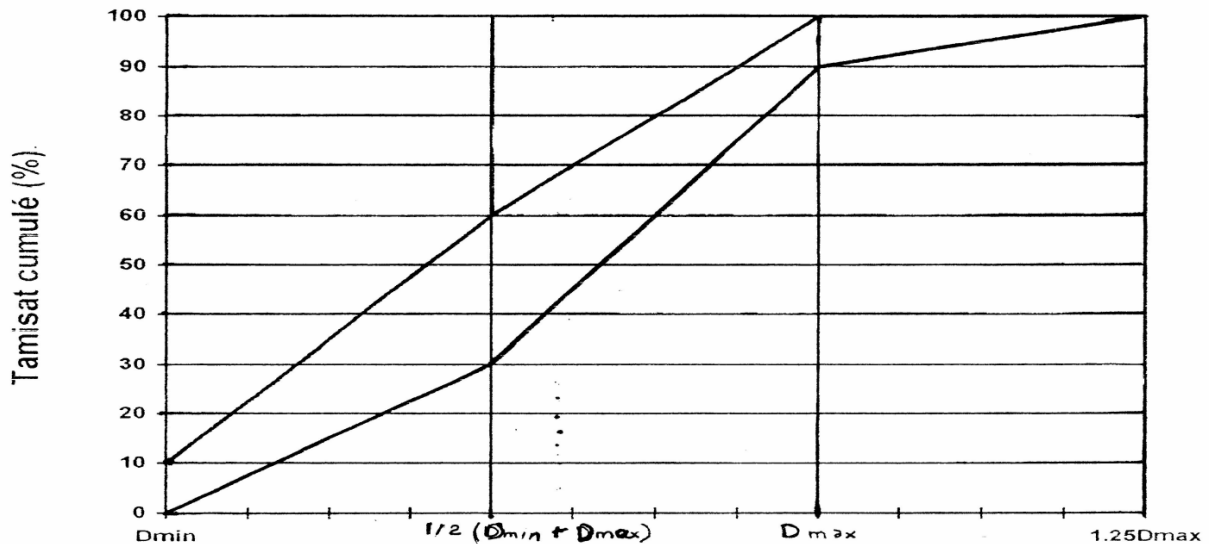


Figure I-1 : Fuseau de spécification Russe des graviers

b-Absorption d'eau :

Le gravier en général est plus au moins poreux. Les graviers absorbent de l'eau de pluie et deviennent humide. Lors de la détermination de la composition du béton, on tiendra compte de cette humidité, sinon on aura une quantité d'eau de gâchage supplémentaire d'où une diminution de la résistance du béton d'après la loi

"résistance = fonction du rapport E/C"

I-3-2-3 Sable:

On appelle "sable" les matériaux de petite dimension issues de la désagrégation naturelle ou artificielle des roches.

La grosseur de ces grains est toujours, ou généralement, inférieure à 5mm.

Le sable peut être naturel, c'est-à-dire extrait du lit des rivières, des sablières, rivages de la mer, ou artificiel, lorsqu'il est obtenu par broyage des roches dures (porphyre, calcaire, quartzite, granit,....).

Le sable utilisé doit être rugueux, graveleux, rude au toucher, il ne tache pas et ne s'attache pas, ne doit comporter ni terre ni matières organiques ni argiles, il résiste sous la pression de la main et s'écoule entre les doigts dans son état sec. [4]

a-Granularité

La composition granulométrique de sable est d'une grande importance pour la qualité du béton, il doit être composé de grains de dimensions différentes (0.14 à 5mm) pour assurer un volume minimale des vides moins les volumes des vides dans le sable est grand, moins il faut de ciment pour obtenir un béton compact.

La composition granulométrique du sable est exprimée par une courbe granulométrique, formée à base de refus cumulés ou tamisats cumulés cette courbe doit se trouver à l'intérieur

d'une zone normalisée dite " fuseau de spécification " qui traduit une bonne granularité du sable.

Le fuseau de spécification est prescrit dans les normes de différents pays sous différentes formes, ci-dessous, nous présentons les fuseaux de spécification des normes françaises et russes respectivement fig. (I-2)

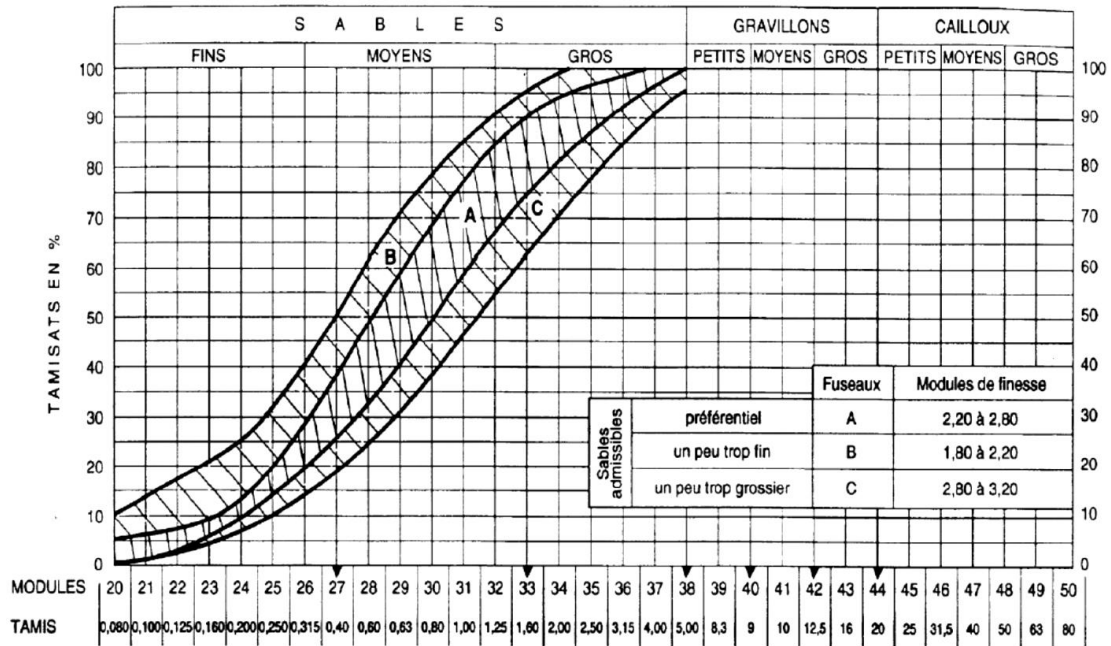


Figure I-2 : Fuseaux proposés pour la granularité des sables à béton

b- Absorption d'eau

Le sable a la capacité de retenir une quantité d'eau très importante, le sable fine absorbe plus d'eau par suite de sa porosité importante et de sa grande surface spécifique.

Lors de la détermination de la composition du béton, le besoin en eau du sable doit être pris en compte vis-à-vis de la quantité d'eau de gâchage nécessaire

c- Module de finesse:

Nombre égale au centième de la somme des refus cumulés, exprimée en pourcentage sur une série spécifiée de tamis (conformément à la norme (NF P 18-101)). le module de finesse d'un sable pour béton est généralement compris entre 2 et 3. plus le sable est fin, plus son module de finesse est petit.

I-3-3 Eau de gâchage :

L'eau de gâchage est la quantité d'eau ajouté au mélange sec de béton, elle remplit deux fonction : d'une part elle sert à l'hydratation du liant et d'autre part, elle permet la fluidification du mélange ayant pour but de faciliter la mise en place du béton.

I-3-4 Les adjuvants:

Les adjuvants sont des produits solubles dans l'eau, qu'on ajoute aux mélanges lors des fabrications du béton, dans le but de modifier ou d'améliorer une ou plusieurs de ces propriétés. Ils se présentent sous forme de poudre ou plus souvent de liquide et leur dosage doit être inférieur ou égale à 5% du poids de ciment.

Les principales fonctions retenues par les différentes commissions sont les suivantes:

- hydrofuge.
- entraîneur d'air.
- antigel bivalent.
- plastifiant.
- accélérateur de durcissement.
- retardateur de (prise, durcissement).
- antigel (pour protection du béton durci) et accélérateur de prise. .[4]

I-4 Propriété du béton :

Chaque matériau possède plusieurs propriétés, et lorsque le béton étant défini comme un matériau composite, il se distingue par plusieurs propriétés que ce soit à l'état dur (résistance mécanique, retrait, porosité, perméabilité,...) ou à l'état frais (fluidité, ségrégation, ouvrabilité,)

I-4-1 Propriété du béton frais :

Les propriétés les plus importantes du béton frais sont :

a-L'ouvrabilité :

L'ouvrabilité du béton est une caractéristique importante qui est trop souvent négligée. Elle est pourtant essentielle car elle conditionne non seulement la mise en place correcte du mortier, le bon enrobage des armatures et également l'ensemble de ses propriétés à l'état durci. De l'ouvrabilité dépendent en effet la plupart des qualités de l'ouvrage : compacité et résistance réelle de béton dans l'ouvrage lui-même, enrobage et adhérence des armatures, cohésion du béton entraînant un moindre risque de ségrégation, parements de belle apparence, étanchéité.

L'ouvrabilité ou la maniabilité peut s'apprécier de diverses façons et en particulier par des mesures de plasticité. Les contrôles de l'ouvrabilité peuvent se faire par divers tests, le plus couramment utilisé dans la pratique est « l'affaissement au cône d'ABRAMS », ce test est simple et, nécessite un matériel peu coûteux, il a fait l'objet de la norme AFNOR P18-451

dont on donnera ci-dessous que les principes essentiels : on remplit de béton un moule tronconique en tôle ($D=20$, $d=10$, $h=30$).

Le remplissage se fait en quatre couches tassées avec une tige d'acier pointue de 16mm de diamètre à raison de 25 coups par couche. En soulevant ensuite le moule avec précaution, on mesure l'affaissement. Ce test qui caractérise bien la consistance d'un béton et permet d'obtenir un classement approximatif comme indiqué dans tableau ci-dessous :





La forme du béton	Classes de consistance	Affaissement (cm)	Tolérance
	Très ferme (TF)	0 à 4	± 1
	Ferme (F)	5 à 9	± 2
	Plastique (P)	10 à 15	± 3
	Très plastique (TP)	> 15	± 3

Tableau I-3: Classe de consistance du béton

b-Ségrégation :

C'est le phénomène inhérent à l'hétérogénéité du béton qui se trouve soumis à différentes manipulations: telles que malaxage, transport, chute dans les coffrages à travers les ferraillements, vibration, etc. Il en résulte que les éléments constituant le béton ont tendance à se séparer les uns des autres, à se « ségréger » en fonction de leur grosseur ou de leur densité.

En d'autres termes le béton subit un dé mélange et par conséquent une diminution de sa résistance.

I-4-2 Propriété du béton durci :

Les propriétés les plus importantes du béton durci sont :

I-4-2-1 Résistance mécanique :

La résistance mécanique est une propriété intrinsèque du béton, elle détermine dans la plus part des cas les qualités d'un béton.

La résistance du béton dépend de l'activité du ciment, du rapport E/C, de la qualité des agrégats, du degré de compacité du mélange de béton et des conditions de durcissement.

Le béton en service est soumis aux différentes sollicitations d'où plusieurs aspects

De résistance :

- Résistance à la compression.
- Résistance à la traction.
- Résistance au cisaillement

a- Résistance à la compression :

Dans l'état actuel des connaissances et de la technologie en matière de méthode d'essais diverses et malgré l'intérêt croissant pour certaines méthodes modernes, l'essai d'écrasement demeure nécessaire.

Quand il est réalisé consciencieusement. Cet essai donne des résultats très significatifs de la qualité du béton en générale. Mais il ne faut pas lui accorder trop de signification physique en pensant notamment que l'on obtient la résistance à la compression. Nous savons en effet. Que les résultats obtenus varient sensiblement en fonction des modes de préparation et de sollicitation des éprouvettes. C'est pour cette raison que nous préférons parfois dénommer ce test : «essai d'écrasement ».

b-Résistance en traction:

La résistance en traction a 28 jours est désignée par F_{tj}

Plusieurs essais peuvent être réalisés.

Traction directe : la mesure se fait par mise en traction de cylindres identiques seaux précédents mais l'essai est assez délicat à réaliser car il nécessite, l'opération devant avoir lieu sans aucun effort de flexion parasite.

Traction par flexion : c'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion une éprouvette prismatique de côté a et de longueur $4a$.

Pour une charge totale P , le moment de flexion constant entre les deux points d'application de la charge est:

$$M = \frac{Pl}{2}$$

La section a pour module d'inertie $\frac{I}{v} = \frac{a^3}{6}$ et la contrainte de traction correspondant sur la

fibre inférieure est:

$$f_{tj} = \frac{Mv}{I} = \frac{6M}{a^3}$$

Toutefois, la comparaison des résistances obtenues en traction-flexion avec celles mesurées en traction directe ou par fendage montre que ces dernières sont en générale et en moyenne

inférieures de 40 % environ par rapport aux premières; ceci peut s'expliquer par la satisfaction du béton dans la phase de pré rupture; ne sont alors plus valable les lois de l'élasticité qui donnent

$$\sigma = \frac{6M}{a^3}$$

On affecte donc d'un coefficient 0.6 les valeurs trouvées en traction-flexion et le calcul dans ce cas se fait par la formule:

$$F_{tj} = \frac{3.6M}{a^3}$$

I-4-2-2 Retrait du béton :

Le retrait est la diminution du volume du béton non chargé du à l'évaporation de l'eau incorporé dans la masse, pour rendre le béton maniable, en effet on doit ajouter au ciment une quantité d'eau très supérieure à celle qui serait nécessaire à son hydratation, ce durcissement sans excès d'eau diminue beaucoup les effets du retrait c'est pourquoi il convient de tenir les pièces humides en les arrosant pendant leurs durcissement.

I-4-2-3 Porosité :

On a parle en porosité du béton le degré de remplissage de son volume par les pores qui sont de petites alvéoles remplies d'eau ou d'air ils peuvent être fermés ou ouverts ayant des dimensions plus ou moins grandes.

Conclusions:

Le béton qui est un matériau hétérogène dont le choix des composants est fonction des critères qui lui sont recherchés. Ces critères sont essentiellement les résistances mécaniques et la durabilité, qui elles dépendent de la porosité et de la qualité et quantité des composants du béton, auquel s'ajoute, la fissuration du au retrait de la pâte de ciment.

Pour ce qui est des constituants du béton, une gamme des ciments courants, écologiques, durables et économiques sont produits par réduction de la teneur en clinker et l'incorporation de différents types d'ajout minéraux, par ailleurs, cette gamme des ciments permet de choisir le ciment en fonction de la résistance caractéristique garantie, et celle nécessaire au décoffrage du béton, de l'environnement de l'ouvrage. Pour le gâchage du béton, l'eau potable est toujours utilisable, mais, si on doit utiliser une autre eau la norme NF EN 1008 précise les conditions d'utilisation d'une eau de gâchage. Les granulats doivent

répondre à certaines exigences sur leur nature, leur taille et leur forme, ils ne doivent pas contenir d'éléments nocifs préjudiciables à la qualité du béton. Des adjuvants peuvent être ajoutés au béton pour améliorer certains de ces propriétés, cependant les accélérateurs de prise à forte teneur.

Chapitre 02 : les ajouts minéraux

II-1 Introduction :

Les ajouts cimentaires sont des matériaux minéraux que l'on mélange au ciment Portland afin d'améliorer les propriétés du mortier ou du béton grâce à une activité hydraulique et ou pouzzolanique. L'utilisation d'ajout cimentaire (calcaire) dans les industries du ciment et du béton présente des avantages techniques, économiques et écologiques.

II-2 Les avantages :

II-2-1 Avantages techniques :

D'abord, l'incorporation de particules très fines dans un mélange de béton permet d'améliorer sa maniabilité et de réduire le besoin en eau à une consistance donnée . L'ajout cimentaire (calcaire) améliore généralement la résistance, l'imperméabilité et la ténacité aux attaques chimiques. Enfin, parce qu'ils permettent une moindre chaleur d'hydratation des ciments mélangés, l'ajout cimentaire (calcaire) améliore la résistance à la fissuration.

II-2-2 Avantages économiques :

Typiquement, le ciment Portland est le composant le plus coûteux d'un mélange de béton, puisqu'il est un matériau à forte intensité d'énergie. La plus part des matériaux (ajouts) susceptibles de remplacer le ciment dans le mortier ou béton sont des sous-produits, et, à ce titre, demandent relativement moins d'énergie, sinon aucune, et sont beaucoup moins coûteux que le ciment Portland. Toutefois, la distance qui sépare la source des ajouts cimentaires et le coût élevé du transport qui en résulte risquent de l'emporter sur leurs avantages économiques potentiels. De même, le manque de stockage abordable est parfois une barrière à leur utilisation dans certains marchés. Bien qu'il soit difficile à prédire, le prix des ajouts cimentaires pourrait se comparer à celui du ciment si la demande en béton ne diminuait pas, dans ce monde que menace le CO₂. Et c'est bien le gaz carbonique (dioxyde de carbone) qui pourrait finalement décider de la valeur de ces denrées.

II-2-3 Avantages écologiques :

La production d'une tonne de ciment Portland libère dans l'atmosphère une quantité quasi équivalente de gaz carbonique (CO₂). De fait, le remplacement du ciment Portland par des ajouts cimentaires réduit d'autant les émissions de CO₂. En général l'utilisation de calcaire comme ajouts cimentaires ne demande pas un traitement à forte intensité d'énergie. Il convient donc de considérer tous les paramètres avant d'établir les avantages écologiques de l'ajout cimentaire calcaire sur le ciment.

II-3 Classification des ajouts minéraux :

Selon la norme [EN 2006] paragraphe 3.1.5, les ajouts minéraux dans le ciment sont classés en actifs et inertes.

On distingue quatre classes d'ajouts minéraux :

II-3-1 Les ajouts minéraux actifs :**II-3-1-1 La pouzzolane :**

Les pouzzolanes sont des matériaux, naturels ou artificiels, capables de réagir en présence d'eau avec l'hydroxyde de chaux pour donner naissance à des composés nouveaux, stables, peu solubles dans l'eau et possédant des propriétés liantes [5].

Les Normes françaises donnent les définitions suivantes des pouzzolanes entrant dans la fabrication des ciments :

II-3-1-1-1 Pouzzolane naturelle :

Est un produit d'origine volcanique essentiellement composé de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant naturellement des propriétés pouzzolaniques. Elle peut être d'origine volcanique: verre volcanique, ponce, rhyolite, tufs, zéolite ou d'origine sédimentaire: terre à diatomées, diatomites.

II-3-1-1-2 Pouzzolane artificielle :

C'est une matière essentiellement composée de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant subi un traitement thermique pour lui assurer des propriétés pouzzolaniques. Les roches traitées thermiquement: argiles, schistes, latérite, bauxite et moler.

Le professeur Massaza classe les pouzzolanes en trois catégories [5]:

- Les constituants actifs: phase vitreuse plus au moins altérée, opale, terre de diatomées , zéolites cristallisées.
- Les constituants inertes: phase cristallisée autre que les zéolites.
- Les constituants nocifs: substances organiques et argiles gonflantes

II-3-1-1-3 Propriétés et caractéristiques des pouzzolanes :

Les pouzzolanes sont des roches " acides " ayant des teneurs élevées en silice et en alumine (entre 70 et 80% pour les deux composants ensemble), puis en fer, en alcalins, en magnésie et en chaux. Les pouzzolanes naturelles d'origine sédimentaire ont des teneurs en silice encore plus élevées (cas des squelettes siliceux de micro-organismes).

Les quantités de chaux sont limitées, ce qui explique par ailleurs, la capacité des pouzzolanes à fixer la chaux [6] et [7].

Les pouzzolanes sont formées surtout d'éléments vitreux. Elles sont plus au moins réactives. La réactivité est l'aspect chimique de fixation de la chaux.

L'activité pouzzolanique s'explique par une attaque lente de la silice et de l'alumine des pouzzolanes par l'hydroxyde de chaux (portlandite).

Des tests chimiques basés sur la quantité de chaux absorbée ou sur la vitesse de fixation ne suffisent pas pour déterminer la réactivité pouzzolanique.

D'autre part, la connaissance séparée des propriétés de chacun des constituants ne permet pas de prévoir le comportement des mélanges. Seuls les résultats des essais de l'évolution des résistances mécaniques dans le temps permettent de conclure [5].

Tous les matériaux appelés « pouzzolanes » ne possèdent pas forcément cette propriété. On peut dans certains cas, activer les pouzzolanes par certains procédés :

- ajouts de produits chimiques.
- broyage à une finesse plus élevée.
- traitement thermique.

En plus de ces caractéristiques, on cite les propriétés suivantes :

a- Propriétés hydrauliques :

La pouzzolane réagit avec l'eau, en présence d'une quantité suffisante de chaux, pour former des hydrates stables, peu solubles et résistants à long terme

b- Propriétés physiques de remplissage

En plus de leur effet pouzzolanique, elles jouent un rôle de remplissage des pores des produits hydratés et de correcteurs granulaires, ce qui améliore la compacité et diminue la perméabilité.

II-3-1-2 Fumée de silice :

La fumée de silice est un sous produit de la fabrication du silicium, de différents alliages de ferrosilicium ou de zircone. Le silicium et les alliages de silicium sont produits dans des fours à arc électrique où le quartz est réduit en présence de charbon (et de fer pour la production de ferrosilicium). Durant la réduction de la silice dans l'arc électrique, un composé gazeux, SiO_2 se forme [8] et s'échappe vers la partie supérieure du four, il se refroidit, se condense et s'oxyde sous forme de particules ultrafines de silice SiO_2 . Ces particules sont récupérées dans un système de dépoussiérage. D'un point de vue chimique, la fumée de silice est essentiellement composée de silice (Tableau II-1). La teneur en SiO_2 de la fumée de silice varie selon le type d'alliage produit. Plus la teneur en silicium de l'alliage est élevée plus la teneur en SiO_2 de la fumée de silice est élevée

Les fumées de silice produites durant la fabrication de silicium métal contiennent en général plus de 90% de SiO₂. La fumée de silice produite lors de la fabrication d'un alliage Fe – Si à 75% a une teneur en silice généralement supérieure à 85%. Du point de vue structural, la fumée de silice est essentiellement composée de silice vitreuse.

Du point de vue morphologique, les particules de fumée de silice se présentent sous forme de sphères ayant des diamètres compris entre 0.03µm et 0.3 µm (le diamètre moyen habituel se situant en dessous de 0.1 µm), de telle sorte que la dimension moyenne des sphères de fumée de silice est 100 fois plus faible que celle d'une particule de ciment avec un diamètre moyen de l'ordre de 1/ 10 de micron.

Composés	Silicium (grise)	Ferro silicium (grise)	Blanche
SiO ₂	93.7	87.3	90.0
Al ₂ O ₃	0.6	1.0	1.0
CaO	0.2	0.4	0.1
Fe ₂ O ₃	0.3	4.4	2.9
MgO	0.2	0.3	0.2
Na ₂ O	0.2	0.2	0.9
K ₂ O	0.5	0.6	1.3
Perte au feu	2.9	0.6	1.2

Tableau II-1 : Composition chimique type de certaines fumées de silice [8].

Les caractéristiques très particulières de la fumée de silice en font une pouzzolane très réactive à cause de sa très forte teneur en silice, de son état amorphe et de son extrême finesse. Les effets bénéfiques de la fumée de silice sur la microstructure et les propriétés mécaniques du béton sont dus essentiellement à la rapidité à laquelle la réaction pouzzolanique se développe et à l'effet physique particulier aux particules de fumée de silice qui est connu sous le nom d'effet filler.

Ces deux effets entraînent à la fois une forte augmentation de la compacité et une amélioration des résistances mécaniques du fait de la réaction pouzzolanique des fumées de silice. Ajoutons cependant que la fumée de silice est un matériau peu économique. La fumée de silice est aussi appelée micro silice ou fumée de silice condensée, mais le terme fumé de silice est le plus généralement utilisé. La densité de la fumée de silice est généralement de 2.2, mais aussi un peu plus élevée lorsque la teneur en silice est plus faible. Elle est moins dense que le ciment Portland dont la densité est 3.1.

Ce produit se présente sous la forme d'une poudre ultra fine de couleur claire ou grise . Lorsque l'on considère les propriétés du béton aux fumées de silice, il importe de garder à l'esprit qu'on utilise ces dernières de deux manières différentes :

- Comme substitue du ciment, pour réduire les quantités de ciment utilisées, en général pour des raisons d'économie
- Comme ajout, pour améliorer les propriétés du béton, aussi bien à l'état frais qu'à l'état durci.

II-3-1-3 Le laitier de haut fourneau :

Le laitier de haut fourneau, ou le laitier broyé comme il voudrait peut- être mieux l'appeler est un sous produit de la fabrication de la fonte brusquement refroidi par aspersion d'eau, c'est un matériau hydraulique lorsqu'il est activé.

Il se présente sous forme de nodules dont la composition chimique comporte de l'oxyde de calcium dans des proportions de l'ordre de 40 à 50 %, de la silice entre 25 à 35%, de l'alumine entre 12 à 30% ainsi que la magnésie et d'autres oxydes en très faibles quantités, tous ces éléments étant pratiquement les mêmes que ceux du clinker.

D'un point de vue chimique (tableau I.2), les laitiers ont une composition relativement constante à laquelle le métallurgiste porte une certaine attention puisque tout écart par rapport à cette composition chimique optimale se traduit par une augmentation des coûts énergétiques assez importants et donc à des coûts de production plus élevés pour la fabrication de la fonte.

Le laitier est fondu à une densité beaucoup plus faible (de l'ordre de 2.8) que celle de la fonte (qui est supérieure à 7.0) de telle sorte que le laitier fondu flotte au – dessus de la fonte fondue au bas du haut fourneau si bien que l'on peut soutirer ces deux liquides séparément.

Oxydes	Laitier français	Laitier nord U.S.A	Laitier algérien
SiO ₂	29 à 36	33 à 42	38 à 42
Al ₂ O ₃	13 à 19	10 à 16	8 à 12
CaO	40 à 43	36 à 45	48 à 52
Fe ₂ O ₃	4%	0.3 à 20	2.0
MgO	6%	3 à 12	4.7
S	1.5%	-	0.15

Tableau II-2 : Composition chimique type de laitiers de haut fourneau [9]

Le laitier peut être mélangé avec du ciment après avoir été séparé ou après avoir été cobroyé avec le clinker. Le laitier retient moins bien l'eau de gâchage que le ciment Portland et craint donc d'avantage la dessiccation. Par contre il résiste normalement mieux à l'action

destructrice des sulfates, à la dissolution de chaux par les eaux pures ainsi que par celles contenant du gaz carbonique. La réactivité du laitier peut être augmentée de trois façons :

- Broyage poussé.
- Chaleur (étuvage, autoclavage).
- Produits chimiques (la chaux, la soude (Na OH) ou des sels de soude, le sulfate de calcium (gypse)).

II-3-1-4 Les cendres volantes :

Les cendres volantes sont des particules très fines récupérées par les systèmes de dépoussiérages des gaz des chaudières des centrales thermiques. Les cendres volantes peuvent avoir différentes compositions chimiques et différentes compositions de phase parce que Celles – ci sont reliées exclusivement au type d'impuretés qui sont contenues dans le charbon que l'on brûle dans la centrale thermique. Des charbons provenant de la même source et utilisés dans la même centrale thermique produisent des cendres volantes très semblables.

Cependant, comme on peut le voir dans le tableau (II-3) la composition chimique des cendres volantes qui proviennent de différentes usines peut varier beaucoup. Les particules de cendres volantes peuvent avoir des formes très différentes les unes des autres. Elles peuvent avoir une forme sphérique, avec une distribution granulométrique semblable à celle du ciment Portland, elles peuvent contenir des sphères creuses et même dans certains cas, elles peuvent contenir seulement des particules angulaires.

Les cendres volantes se divisent en trois catégories :

- Les cendres silico- alumineuses (cendre de houille).
- Les cendres sulfocalciques (cendre de lignite).
- Des cendres non typifiées de composition irrégulière ou de propriétés assez incertaines.

Composés	Classe F	Classe F	Classe C	Sulfo – calcique	Sulfo-calcique
SiO ₂	59.4	47.4	36.2	24.0	13.5
Al ₂ O ₃	22.4	21.3	17.4	18.5	5.5
Fe ₂ O ₃	8.9	6.2	6.4	17.0	3.5
CaO	2.6	16.6	26.5	24.0	56
MgO	1.3	4.7	6.6	1.0	1.8
Na ₂ O	2.2	0.4	2.2	0.8
SO ₃	2.4	1.5	2.8	8.0	15.1
Perte au feu	2.0	1.5	0.6
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	90.7	74.9	60	59.5	22.5
Chaux libre	28.0

Tableau II-3 : Composition chimique type de certaines cendres volantes [10].

La plupart des particules ont un diamètre compris entre $1\mu\text{m}$ et $100\mu\text{m}$, leur surface spécifique Blaine se situe généralement entre 250 et $600\text{ m}^2/\text{kg}$. La grande surface spécifique des cendres volantes signifie que le matériau réagit facilement avec l'hydroxyde de calcium. D'une façon générale, l'introduction des cendres volantes dans le béton diminue la porosité et la perméabilité. Elle diminue la sensibilité du béton aux eaux agressives, en fixant progressivement la chaux. La cendre volante permet au béton de conserver sa compacité et de rester imperméable. Il est reconnu que l'emploi des ciments aux cendres volantes entraîne une diminution du retrait hydraulique et thermique du béton. En plus des propriétés décrites, lorsqu'elles sont utilisées comme une fraction liante, les cendres volantes jouent également d'autres rôles dans le béton tels que l'amélioration de l'ouvrabilité, la diminution de la proportion d'eau pour le béton frais et l'imperméabilité des surfaces.

II-3-2 Principaux ajouts minéraux inertes :

Selon certains chercheurs, les particules de clinker de dimension supérieure à $60\mu\text{m}$ ne subissent pas une hydratation complète même au cours du durcissement à long terme, pour cette même raison les particules de clinker de telle dimension pourraient être remplacées par celles de matériaux inertes (N F P 18- 305).

En outre, les particules les plus fines d'un ajout inerte servent à remplir les pores de la pâte de ciment, ils jouent le rôle de micro agrégats.

Ce sont des matériaux quasiment inertes, organiques naturels ou synthétiques spécialement sélectionnés qui, par leur composition granulométrique améliorent les propriétés physiques du ciment Portland (ouvrabilité, pouvoir de rétention d'eau, ...). Parmi ces additifs on distingue la poussière et les fillers calcaires.

II-3-2-1 La poussière :

La poussière est une matière à particules fines, récupérée à la sortie du four, lors de son passage avec la fumée, sa finesse est comprise entre 7000 et $9000\text{ cm}^2/\text{g}$. Le ciment composé avec la poussière a des caractéristiques mécaniques et une résistance au gel-dégel comparable à celle du ciment sans ajouts. Le temps de prise, le fluage et le retrait augmente avec l'augmentation du pourcentage d'ajout.

Fillers calcaires :

Les produits désignés dans le commerce comme fillers sont des poudres fines à granulométrie contrôlée, dont les plus gros grains ne dépassent pas 80 microns obtenus par broyage ou par pulvérisation de certaines roches (calcaires, basalte, bentonite, cendres volantes). Les fillers se différencient les uns des autres par :

- leur origine, leurs compositions chimiques et minéralogiques, leurs défauts de structure, les impuretés qui' ils contiennent.
- leur finesse, la forme des grains, leur état de surface.
- leur dureté, leur porosité.

Un filler est dit calcaire s'il contient au moins 90% de carbonate de calcium. Dans les autres cas le filler est désigné par le nom de sa roche d'origine. Les différents résultats montrent que les fillers calcaires ajoutés à un CPA peuvent jouer plusieurs rôles :

- Un rôle de remplissage en substitution du ciment dans les éléments fins de la courbe granulométrique (bétons ouvrables retenant mieux l'eau).
- Un rôle rhéologique par leur pouvoir fluidifiant sur la pâte interstitielle.
- Un rôle chimique et physique conduisant à l'accélération de l'hydratation du C3S et du C3A et à la formation de carboaluminates, germes de cristallisation et points d'ancrage des hydrates.
- Un rôle physique en permettant un arrangement initial différent ce qui réduit l'épaisseur entre la pâte et le granulat.

II-4 L'utilisation des ajouts en Algérie :

L'industrie cimentaire est d'importance primordiale pour l'Algérie comme tous pays en voie de développement. Cependant, parmi les moyens efficaces qui existent pour augmenter la production du ciment est celui d'utiliser des ajouts qui sont très peu coûteux et disponibles en grandes quantités en Algérie, comme le laitier d'El-Hadjar, le calcaire et la pouzzolane naturelle de Beni-Saf.

Chapitre 03

Première partie : la cure

III-1- Généralités sur la cure [MEM 08] :

La cure se définit comme l'ensemble des traitements appliqués au béton pour éviter le départ prématuré de l'eau (la dessiccation) au cours des premières heures de durcissement.

L'objectif d'une cure est de conserver le béton dans des conditions climatiques telles que l'espace inter granulaire de la pâte fraîche (pores capillaires) soit au maximum rempli par les produits d'hydratation. La durée minimale de la cure est égale au temps nécessaire à l'obtention d'une maturité suffisante du béton de surface pour minimiser la sensibilité à la dessiccation :

- La norme NF EN 13369 « Règles communes pour les produits préfabriqués en béton » prévoit des résistances minimales à atteindre à l'issue de la cure en fonction des futures conditions environnementales du produit sur le lieu d'utilisation (classes d'exposition au sens de la norme NF EN 206-1).
- Dans le cas des éléments destinés aux ouvrages de génie civil, le fascicule 65 prévoit un temps minimal de cure en fonction de la température à la surface du béton et du développement de la résistance du béton, c'est-à-dire du rapport de la résistance moyenne à 2 jours à la résistance moyenne à 28 jours.

De nombreux travaux montrent qu'une durée de cure comprise entre 3 et 7 jours est suffisante pour optimiser la texture du matériau.

Il existe différents types de cure :

➤ **Maintien de l'humidité sans apport d'eau :**

- Conserver les éléments dans des chambres de durcissement avec une humidité relative de l'air ambiant supérieure à 75 %.
- Conserver les éléments dans les moules.[21]
- Couvrir les éléments avec des films plastiques convenablement maintenus.

➤ **Maintien de l'humidité avec apport d'eau :**

- Maintenir les surfaces de béton humides en permanence par arrosage régulier.
- Conserver les éléments ou produits en béton dans l'eau.

➤ **Utilisation de produits de cure ou ajout dans le béton d'émulsions de polymères :**

- Pulvériser ou recouvrir au rouleau la surface du béton par des produits de cure qui empêchent l'évaporation de l'eau.

- Ajouter dans le béton une émulsion à base de polymère acrylique ayant un effet rétenteur d'eau et filmogène.

Le type de cure doit être déterminé en fonction des conditions climatiques externes, des conditions de production, des exigences en termes de durabilité, d'aspect de surface et de teinte ainsi que des dimensions des produits. [21]

III-2- Définition

On entend par cure du béton tout procédé susceptible de maintenir une humidité et une température favorables à l'hydratation du ciment, durant une période bien définie (3 à 7 jours). Elle permet au béton de développer les propriétés requises, telles que, la durabilité, la résistance au gel/dégel, la résistance en compression, ...etc (ACI 1997, Bombléd 1984).

Dans la littérature, la cure est définie en termes de durabilité (fascicule 65 du Cahier des Charges des Clauses Techniques Générales, relatif à l'exécution des ouvrages en béton armé ou précontraint, et annexe A de la norme EN13670):

- La cure doit être appliquée dès que possible ; elle est continue et homogène.
- La durée d'application dépend de plusieurs paramètres :
- **Ambiance:** -Classe I- à l'abri du vent et du soleil – hygrométrie 80%.
-Classe II – cas différents des classes I et III
-Classe III – hygrométrie < 50%, soit vent fort ou ensoleillement important.
- **Température** (Moyenne sur 2 jours, à midi sous abri) :
- $T < 5^{\circ}\text{C}$, si pas de protection isotherme, cure tant que $T < 5^{\circ}\text{C}$.
- $5^{\circ}\text{C} \leq T \leq 10^{\circ}\text{C}$, durée variant de 1 à 10 jours.
- $T > 10^{\circ}\text{C}$, durée variant de 0 à 5 jours.

Des précautions particulières sont à prendre lorsque les éléments sont conservés en ambiance chaude ($T \leq 25^{\circ}\text{C}$) ou froide ($T < 5^{\circ}\text{C}$).

L'objectif de la cure est de prévenir la perte d'eau du béton et, si nécessaire, l'approvisionnement en eau supplémentaire et de maintenir une température favorable au matériau pour une période de temps suffisante, pour bien s'hydrater (ABQ 2005 ; ACI 308 2001). Si la quantité d'eau initialement contenue dans le béton (eau de gâchage) parvient à maintenir une hydratation suffisante pour le développement des propriétés mécaniques du béton alors une cure est nécessaire pour s'assurer que cette eau de gâchage reste dans le béton jusqu'à ce que les propriétés recherchées soient atteintes. La cure est nécessaire dès que le béton est soumis au séchage car le séchage peut entraîner des dommages au béton ou empêcher le développement des propriétés requises. [22]

II-3- Le rôle de la cure vis-à-vis du phénomène de dessiccation :

III-3-1- Les besoins de la cure :

La cure est entreprise dès que le matériau commence à sécher en surface, c'est-à-dire dès que l'eau disponible en surface s'évapore trop vite (AL-Fadhala and Al. 2001 ; Kosmatka 1994 ; Lerch 1975). La cure doit être maintenue jusqu'à ce que le séchage n'engendre pas de dommages à la surface du béton, et jusqu'à ce que l'hydratation ait progressé, afin que le matériau continue à se structurer même en absence de cure.

Dans ces conditions on comprend que le béton frais doit être protégé pendant un temps suffisant, après sa mise en place, pour limiter une évaporation trop importante, pouvant engendrer une hydratation incomplète et par conséquent amorcer l'apparition de fissures.

La nécessité de protection du béton frais est d'autant plus impérieuse que le risque de dessiccation est grand, surtout avant la prise où une évaporation trop rapide peut entraîner d'importantes fissures de retrait plastique et donc une perte de résistance près de la surface.

Le graphique ci-dessous montre l'évolution des pertes de masse moyennes d'un béton sans et avec cure (usage d'un produit de cure).

On observe une importante évaporation les cinq premières heures qui suivent la période de gâchage, pour le béton non protégé. Une très faible évaporation est observée pour le béton protégé par le produit de cure. Cette évaporation trop rapide, observée au niveau du béton non protégé, est caractéristique d'une dessiccation sévère. Ainsi, les départs d'eau au jeune âge, liés à la température, l'humidité du béton, la vitesse du vent, et la température de l'air, ne permettent pas de maintenir dans le béton l'humidité nécessaire au bon processus d'hydratation (Balayssacand al. 1997 ; El Dieb 2006).[14]L'évaporation trop prématurée de l'eau se traduit d'abord par une augmentation du retrait plastique (retrait avant prise) qui peut être considérable lorsque la vitesse de dessiccation .

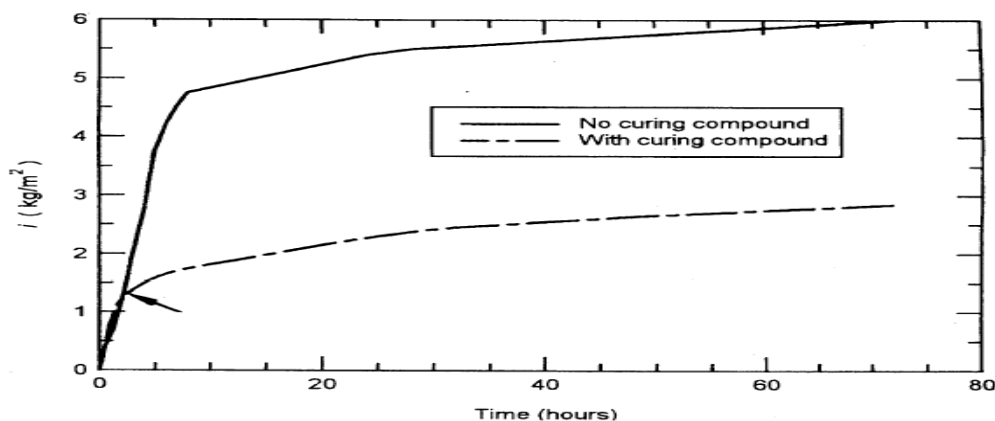


Figure III-1: Evolution de l'évaporation suivant le mode cure. [22]

On remarquera sur la figure que le retrait plastique peut être décuplé par le passage d'un vent à une vitesse de 30 km/h.

Le même béton protégé par une cure convenable voit son retrait plastique limité dans une plage beaucoup plus faible (nul en atmosphère calme, il ne dépasse pas dans le cas d'un vent de 30 km/h, l'ordre de grandeur trouvé en air calme en l'absence de cure).

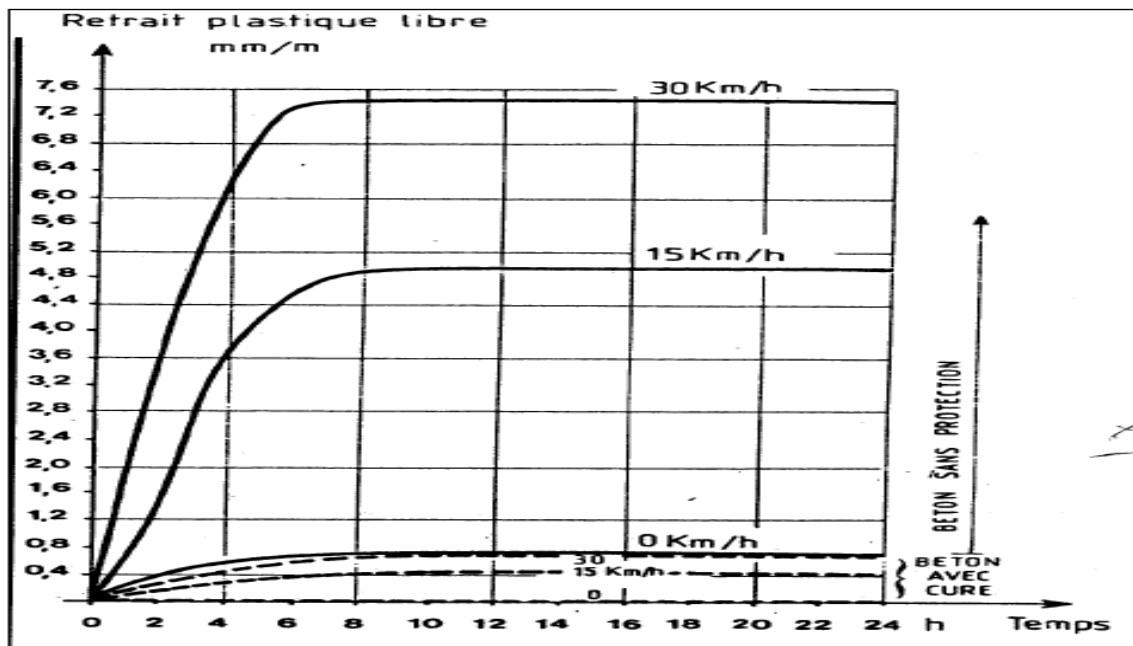


Figure III-2: Influence du vent sur le retrait plastique.[21]

Lorsque la surface est humide, l'eau est absorbée à l'intérieur du béton par capillarité, cette absorption dépend de plusieurs facteurs. L'intérêt de procéder à une cure du béton réside dans le fait de minimiser les gradients de teneur en eau et de température, qui provoquent des tractions du béton de peau.

Lorsque le béton est fluide, ce dernier ne peut alors reprendre ces tractions, qui risqueraient, par la suite de conduire à une fissuration précoce du matériau. La cure a été traditionnellement considérée comme une seule étape, réalisée peu de temps après que le béton ait été mis en place. Le contrôle de l'humidité au sein du matériau, cependant, peut exiger différentes étapes qui sont entreprises lors de la cure.

III-3-2-Les différentes étapes du déroulement de la cure :

Trois étapes distinctes dans la cure sont définies par les techniques utilisées:

- la cure initiale, c'est-à-dire la cure avant la prise, visant à réduire la perte d'eau trop rapide en surface.

- la cure intermédiaire, est réalisée avant la fin de prise. Pendant cette période l'évaporation est réduite et la structuration du matériau se poursuit.
- la cure finale fait référence à la fin de prise.

Dans le cadre de notre étude, seule la cure initiale sera étudiée, c'est à dire avant prise, période durant laquelle le matériau sèche rapidement. Sous de telles conditions, il est nécessaire de réduire la perte d'eau soit par des techniques de cure, ou bien en modifiant l'environnement dans lequel est exposé le matériau.

L'application d'une cure initiale est très fréquente chez des bétons qui présentent un faible ressuage voir même négligeable, afin de minimiser l'apparition de fissures liées au retrait plastique. On limitera ici la notion de cure à la protection (et aux techniques de protection) contre la dessiccation du béton frais. Les procédés d'isolation du béton contre le froid et le gel n'entrent donc pas dans le cadre de cette étude. [22]

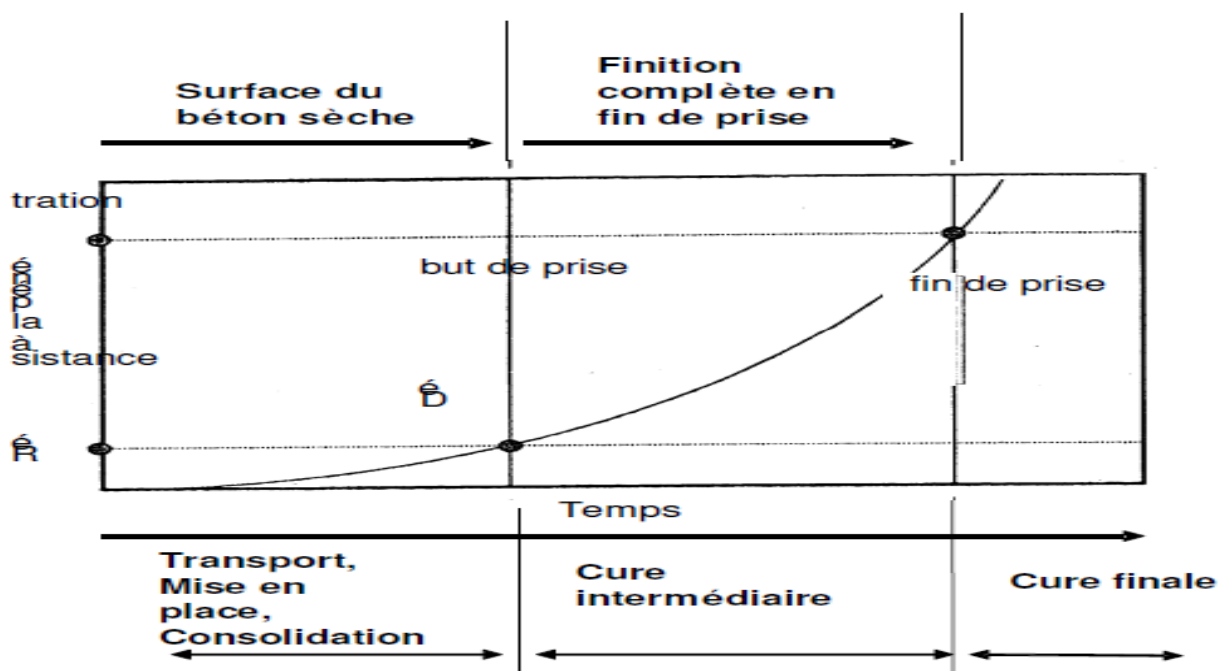


Figure III-3 : Différentes étapes de la cure des bétons pour des opérations de construction sous des conditions idéales.[22]

III-4- Les différents procédés de cure du béton :

Plusieurs méthodes de cure sont utilisées sur le chantier, parmi lesquelles, on distingue [21]:

➤ La cure à l'eau :

L'utilisation de l'eau comme produit de cure du béton correspond à une solution très satisfaisante du point de vue technique. Slowick (2008), lors de son étude menée sur le

développement de la pression capillaire dans les matériaux cimentaires, humidifiait la surface du béton frais avant que la pression d'entrée d'air ne soit atteinte. Ainsi, il évitait la fissuration précoce du matériau en surface tout en contrôlant la cure. Les procédés de cure directe par l'eau sont satisfaisants si la présence d'eau est continue. Plusieurs procédés existent :

- **L'arrosage continu** : qui constitue une cure excellente s'il n'y a pas de risque de gel. La pulvérisation d'un brouillard. La vapeur d'eau peut être utilisée à la pression atmosphérique pour maintenir un film d'humidité au contact du béton.
 - **L'immersion de la pièce** : supprime tout risque de dessiccation ou de défaut d'hydratation. L'eau ne devant pas être beaucoup plus froide que le béton pour éviter de provoquer des contraintes trop importantes donc des risques de fissuration.
 - **L'utilisation de toiles, paillassons, tous revêtements absorbant** : est possible mais il faut encore veiller à leur propreté. La fréquence de ré humidification de la couverture diminue lorsque sa rétention d'eau augmente.
 - **L'usage de matériaux fins humides** : (sable) tout en vérifiant qu'ils ne contiennent pas de substances pouvant retarder la prise du ciment.[21]
- **La cure par des matériaux d'étanchéité** :
- **L'usage de produits de cure** : consiste à former à la surface un film s'opposant à la dessiccation. Avec un temps de séchage rapide, ces produits offrent une protection efficace pendant 3 à 4 semaines.
 - **L'usage de feuilles étanches** : tel un film plastique, appliqué à la surface humide du béton frais, et doit recouvrir toutes les faces exposées du matériau, puis lesté de manière à rester au contact du béton pendant toute la durée de la cure.
 - **Le maintien des coffrages** : en place permet d'éviter une grande évaporation à la surface du béton, une fois le béton coulé.



Figure III-4: Pulvérisation du produit de cure à la surface du béton.[21]



Figure III-5: Maintien des coffrages en place Recouvrant la surface du béton. [22]

III-5-Importance et nécessité de la cure :

III-5-1-La fragilité du béton frais :

A sa sortie du malaxeur, le béton est essentiellement plastique et donc capable de subir des déformations relativement importantes pendant quelques heures (la période dite « dormante »). L'évolution de la résistance au cisaillement de la pâte interstitielle des bétons, à partir de la fin du malaxage, est présentée sur la figure III-6.

Les courbes représentatives en fonction du temps présentent deux phases de la vie de la pâte de ciment en cours d'hydratation, bien distinctes (Bombled 1984) :

- la première phase qui comprend la prise est caractérisée par l'ébauche des liaisons ; elle dépend de la teneur en eau, de la composition granulométrique et du serrage. Cette phase correspond à un matériau plastique car les liaisons sont faibles et permettent facilement des déformations permanentes.
- La seconde phase est la phase de consolidation des liaisons, le matériau est de moins en moins déformable et de plus en plus fragile.

Sur la représentation de la figure III-7, la capacité de déformation du matériau diminue très rapidement pour atteindre de faibles valeurs, puis augmente avec l'accroissement des résistances. Pendant cette période le coefficient de dilation passe de celui du béton frais ($\approx 35\mu\text{m/m}$) à celui d'un béton durci ($\approx 12\mu\text{m/m}$) c'est-à-dire trois fois moins.

Les influences climatiques rendent fragile le béton frais et jouent un rôle très important sur le risque de dessiccation du béton frais (température de l'air ambiant, hygrométrie, vitesse de vent). A titre d'exemple, en absence de vent, si la vitesse d'évaporation est, pour une

ambiance de 20°C et à 80% hygrométrie, de l'ordre de 10 g/m²/h, elle sera environ 200 fois plus élevée par exemple dans une atmosphère sèche, chaude et ventée correspondant à 35°C, 40% hygrométrie et pour une vitesse de vent de 25 km/h.[22]

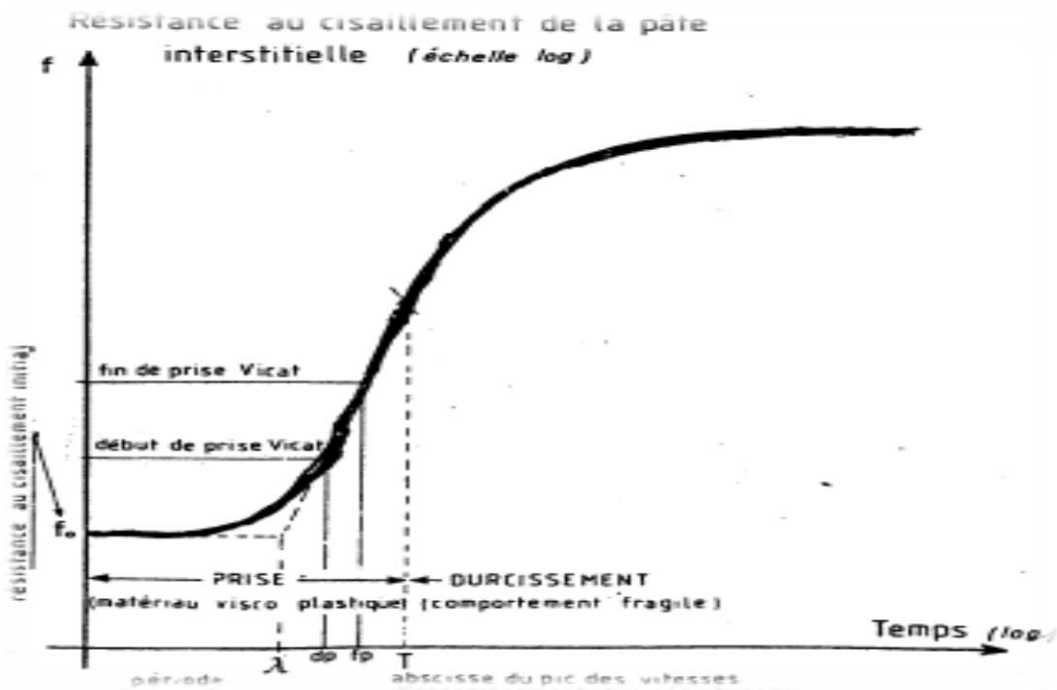


Figure III-6 : Evolution de la pâte interstitielle du béton frais .

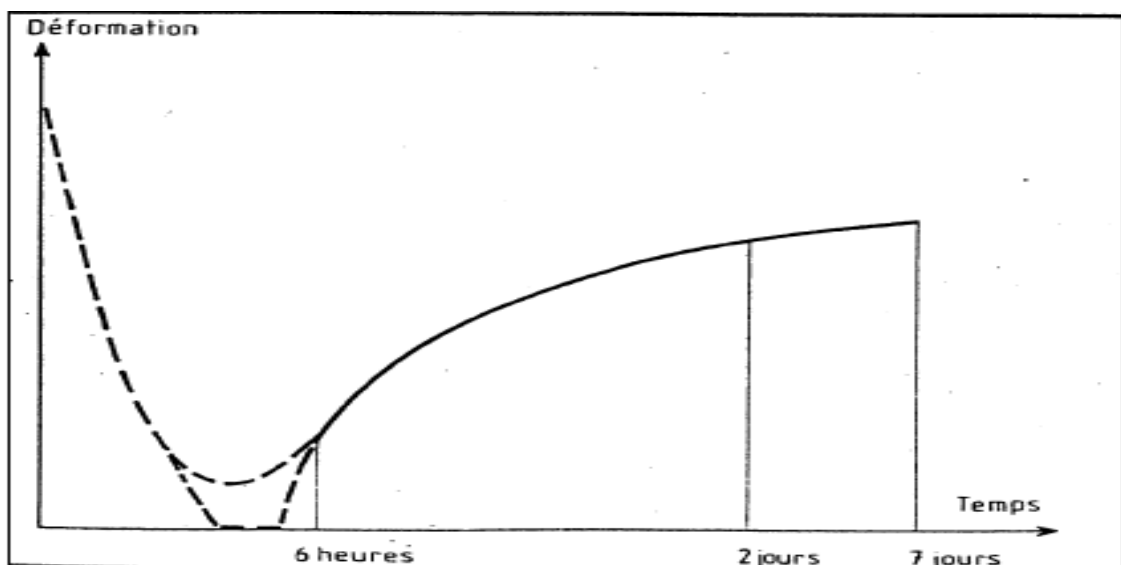


Figure III-7 : Evolution de la capacité de déformation en atmosphère humide [21]

III-5-2-Les défauts de cure :**➤ La fissuration de béton de surface :**

Une dessiccation précoce peut entraîner certains défauts de cure. Afin de s'assurer que les propriétés requises du béton soit bien atteintes, et de limiter ses déformations plastiques, il est alors nécessaire de maîtriser ces départs d'eau trop rapide, en procédant à une cure, que l'on peut définir comme un procédé permettant de limiter une évaporation trop importante en surface.

Car le départ d'eau en surface entraîne un développement de la pression capillaire qui pourrait impliquer un risque de fissuration de l'ouvrage (Bushlaibi and Alshamsi 2002).



Figure III-8 : Fissure de retrait de plastique.

➤ L'hydratation insuffisante du béton :

Une dessiccation prématurée est à l'origine de l'arrêt de l'hydratation. Lorsque que l'hydratation n'est pas suffisante, la porosité capillaire est beaucoup plus importante (Modèle de Powers (1968), figure III-9). Dans le cas par exemple d'un rapport E/C=0.5, la porosité capillaire est de 39% contre 20% d'anhydres. En proportion l'effet est plus marqué pour des rapports E/C plus faible. Cette porosité plus ouverte rend le matériau sensible aux agents agressifs, à l'usure du matériau (l'altération du béton d'enrobage à long terme).

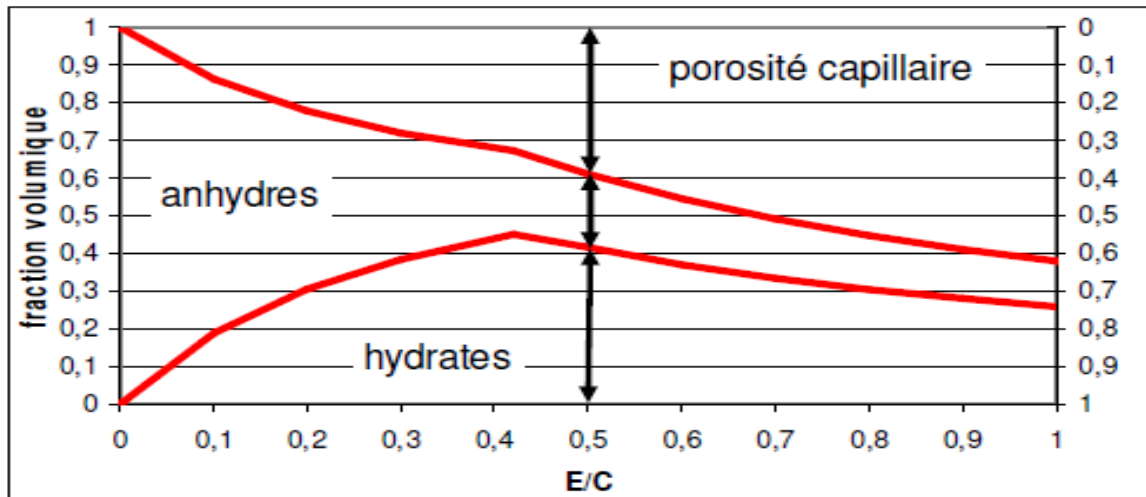


Figure III-9 : Modèle de POWERS (a)

Partie deuxième : l'influence de dosage de ciment

III-1 Influence du dosage en ciment

Pour un dosage en eau constant, l'augmentation du dosage en ciment du béton aura pour conséquence de diminuer le rapport E/C du béton, ce qui se traduira nécessairement par une augmentation de la résistance à court terme [23].

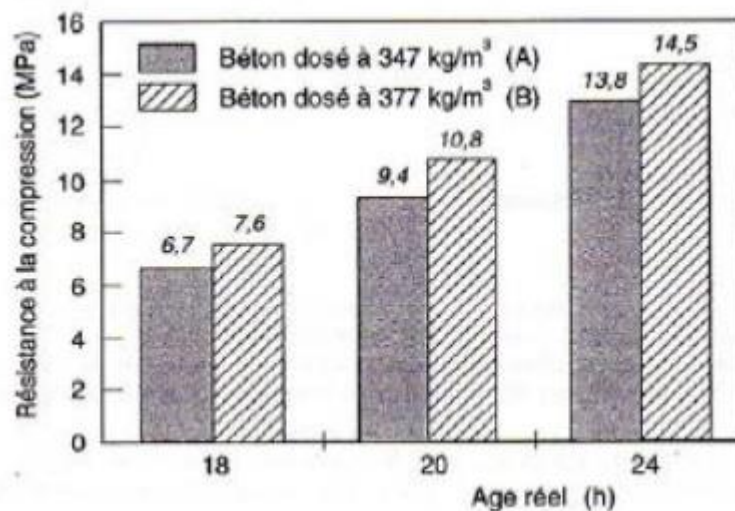


Figure III-10 : Influence du dosage en ciment sur la résistance à la compression au jeune âge du béton [23]

Le (figure III-10) montre l'influence du dosage en ciment sur les résistances à court terme et sur le rapport E/C du béton [23]. Nombreux sont les textes réglementaires qui spécifient des dosages minimaux en ciment tel que : • la norme P 18 011 sur la classification des environnements agressifs qui spécifie les dosages suivants [P18 011]: - pour des environnements à moyenne agressivité.

- $C \geq \frac{550}{\sqrt[5]{D}}$ pour des environnements à forte et très forte agressivité.
- $C \geq \frac{700}{\sqrt[5]{D}}$ Dimension maximale des granulats.

Le BAEL 91 prescrit des dosages minimaux permettant d'obtenir des résistances caractéristiques dans les cas courants (CC) et les cas d'autocontrôle Surveillé (AS) [23]:

Classe du ciment	32,5N et 32,5R		42,5N et 42,5R	
	CC	AS	CC	AS
$D_{max}=16$	300 kg/m ³			
20	350 kg/m ³	325 kg/m ³	325 kg/m ³	300 kg/m ³
25	à justifier	400 kg/m ³	375 kg/m ³	350 kg/m ³
30	non admis	à justifier	à justifier	à justifier

Tableau III-1: dosage en ciment

Baron et Ollivier (1996) ont montré que l'augmentation du dosage en ciment amène à réduire le rapport E/C pour obtenir le même affaissement. En effet, un béton dosé à 377 kg/m de ciment a nécessité une teneur en eau de 192 l (soit E/C = 0,5) pour 3 obtenir un affaissement de 7 cm. Le même affaissement a été obtenu pour un béton dosé à 347 kg/m et un volume d'eau de 186l (E/C = 0,53). Cela s'explique par une 3 plus grande quantité de liant qui disperse les granulats et améliore la fluidité.

III-2 Influence du type de ciment

La démarche de formulation d'un béton passe par le choix du type de ciment. Plus la classe de résistance est élevée et plus la résistance à la compression est élevée, à toutes les échéances. L'influence de ce paramètre sur la résistance à court terme est présentée sur la (figure III-11). Cette figure montre que le choix d'un ciment CPA- CEM I 52,5 R développera à dosage identique dans le béton des résistances à court terme considérablement supérieures à celles d'un ciment CPJ-CEM II 32,5 R. De même, un CPA-CEM I 52,5 R développe des

résistances à court terme beaucoup plus rapidement qu'un CPA-CEM I 52,5N tout en présentant à 28 jours des résistances équivalentes [23]

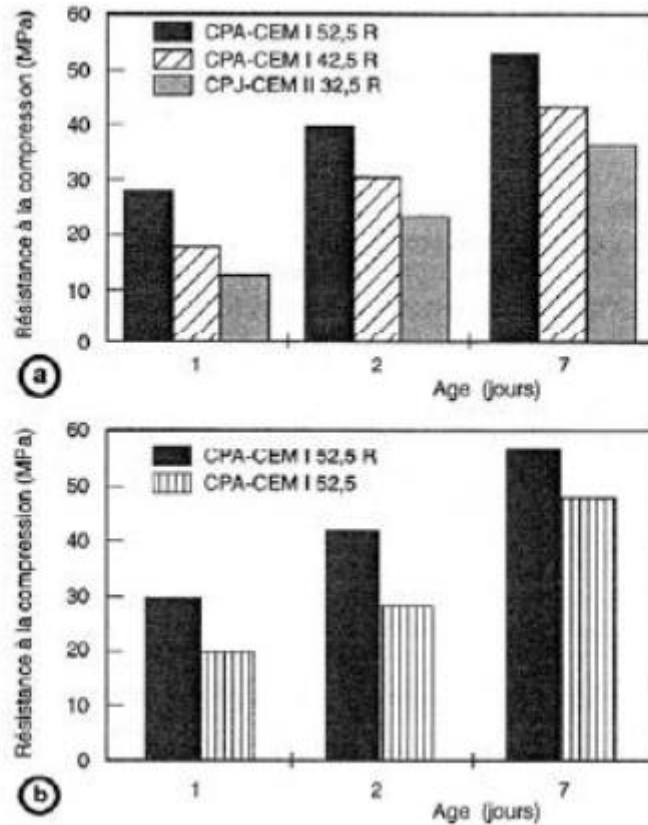


Figure III-11: influence du type de ciment sur la résistance à la compression à court terme [23]

III-3 Influence du rapport eau/ciment (E/C)

A part son rôle majeur dans le phénomène de l'hydratation, l'eau est l'un des facteurs les plus importants au niveau de l'ouvrabilité du béton. L'augmentation du dosage en eau augmente la fluidité du béton et entraîne la diminution de la concentration en solides. Au niveau rhéologique, le seuil de cisaillement et la viscosité diminuent. Cependant, l'introduction excessive d'eau provoque la chute de la résistance mécanique du béton à l'état durci, ainsi que l'apparition des phénomènes de ségrégation à l'état frais. Le dosage du ciment est très souvent relié aux propriétés mécaniques du béton et à sa durabilité. On considère aussi que l'écoulement et l'ouvrabilité du béton sont reliés au rapport E/C. La formulation des bétons ordinaires doit impérativement passer par l'optimisation de ces paramètres.

Neville, (2000) a montré que la courbe qui représente la résistance en fonction du rapport E/C avait l'allure d'une hyperbole. Le même auteur a montré que cette relation ne dépendait ni du

type des granulats utilisés ni de l'âge du béton. Ce résultat a aussi été trouvé par Boukli Hacene (2010) qui a montré aussi que cette relation dépend très peu du dosage en ciment (figure III-12).

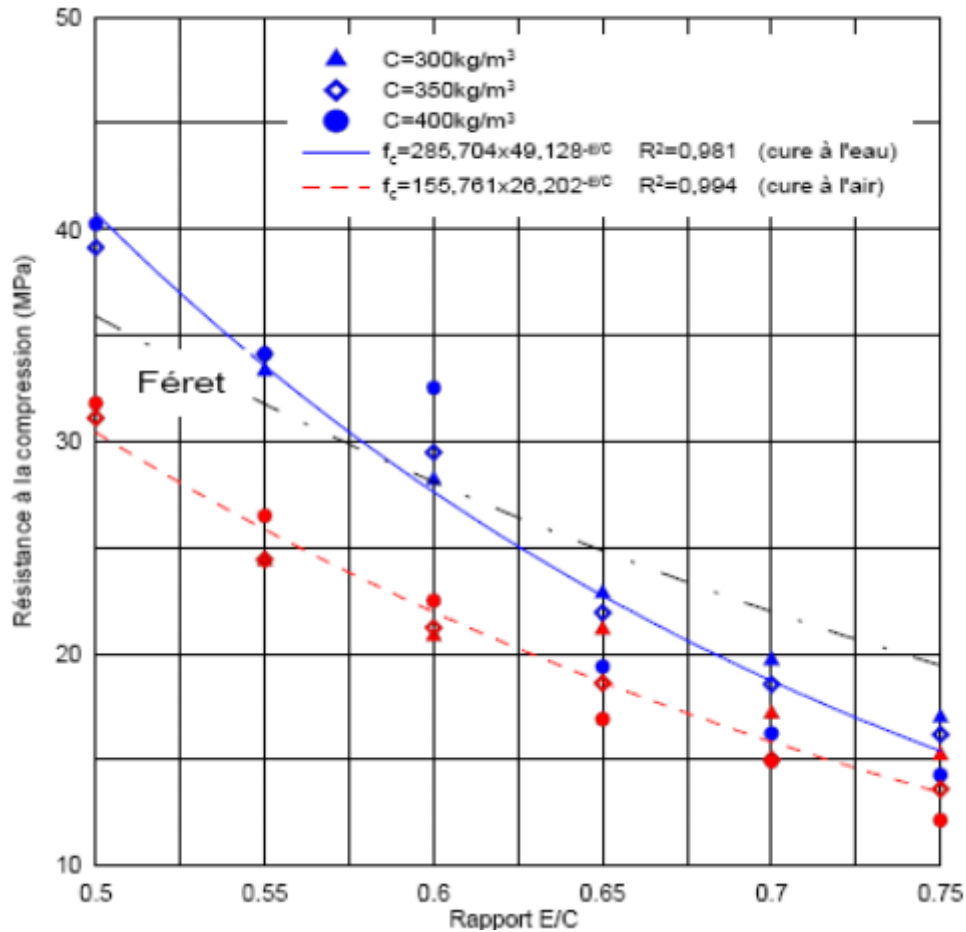


Figure III-12: Relation entre la résistance à la compression à 28 jours et le rapport eau/ciment
[24]

Cependant d'autres auteurs ont montré que la relation était plutôt linéaire pour des valeurs du rapport C/E compris entre 0.4 et 0.85 (figure I.13) [25].

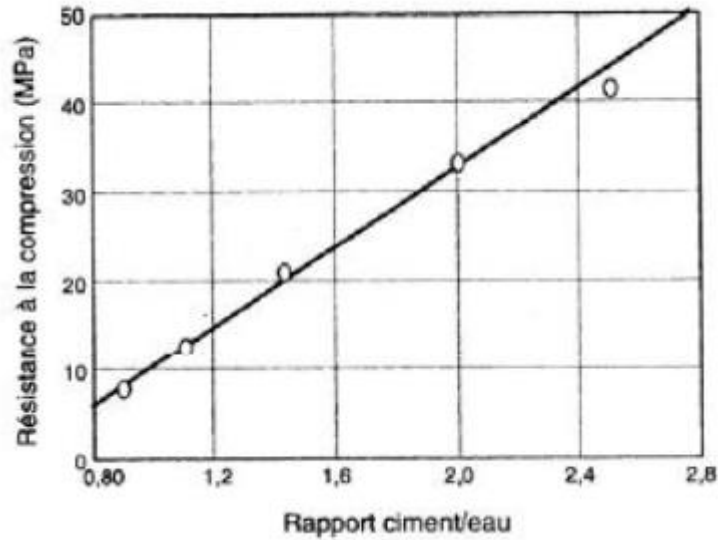


Figure III-13 : Relation entre la résistance à la compression et le rapport C/E [26]

Nielsen (1993) a montré que la linéarité de la relation entre la résistance et le rapport (C/E) n'est plus valable pour des rapports C/E supérieurs à 2,6, ce qui correspond à un rapport E/C égale à 0,38. Comme on le voit sur (la figure III-13), pour des rapports C/E supérieurs à 2,6, la relation avec la résistance est quelque peu différente même si elle demeure linéaire.

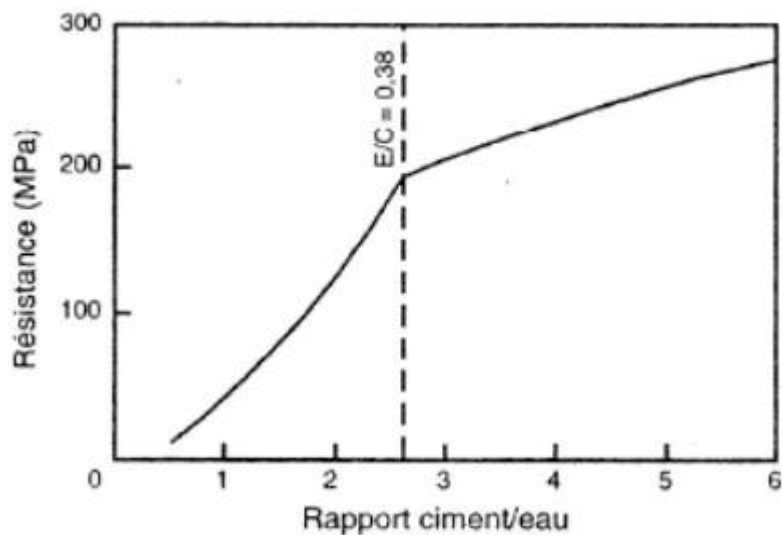


Figure III-14: Relation entre la résistance calculée d'une pate pure de ciment et le rapport C/E [27]

La (figure III-14) montre que la relation entre la résistance à la compression et le rapport C/E d'après la formule de Bolomey est linéaire et croissante surtout dans l'intervalle de C/E entre 1,5 et 2,5 c'est-à-dire entre 0,4 et 0,66 pour E/C.

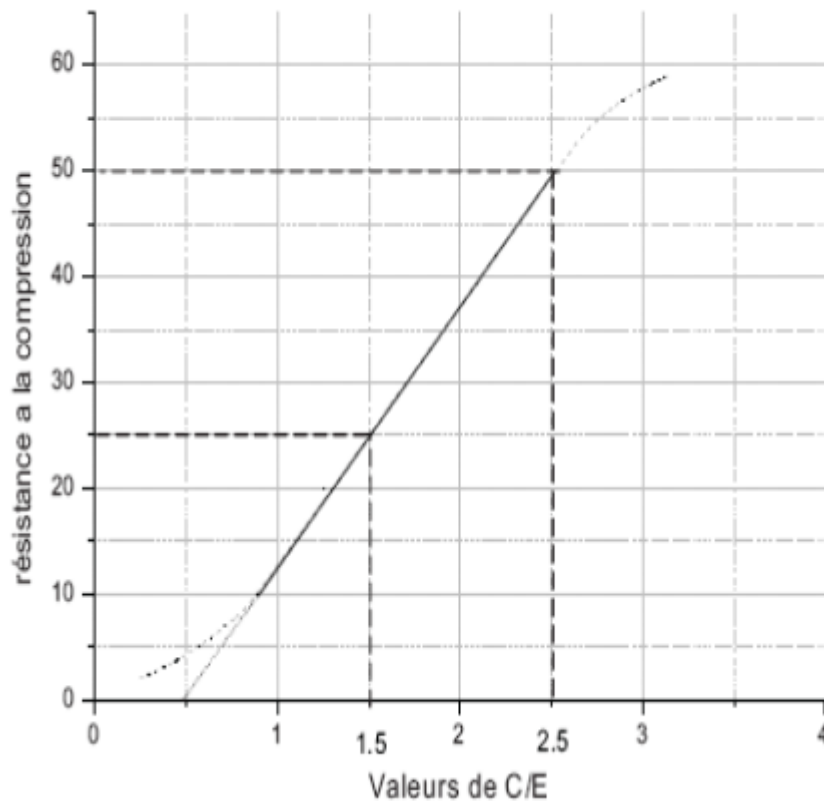


Figure III-15: la relation entre C/E et la résistance à la compression (f_c) d'après la formule de Bolomey [28]

$$f_c = G \times CE(C/E - 0.5) \dots \dots \dots (I.4)$$

G : coefficient de granularité égale à 0.5.

CE : classe vraie du ciment, égale à 50 MPa.

Le rapport E/C conditionne aussi la porosité de la matrice cimentaire du béton durci, qui est un paramètre qui influe beaucoup sur la durabilité du béton

III-4 Influence du rapport granulat /ciment (G/C)

Le rapport granulat /ciment (G/C) est un facteur de deuxième importance quand à la résistance, mais pour un rapport E/C constant. Erntroy et Shacklock(1954) Cités par Neville(2000) ont montré qu'un béton plus faiblement dosé en granulats était plus résistant (figure III-16).

Cependant un optimum de G/C a pu être distingué qui est de l'ordre de 3.

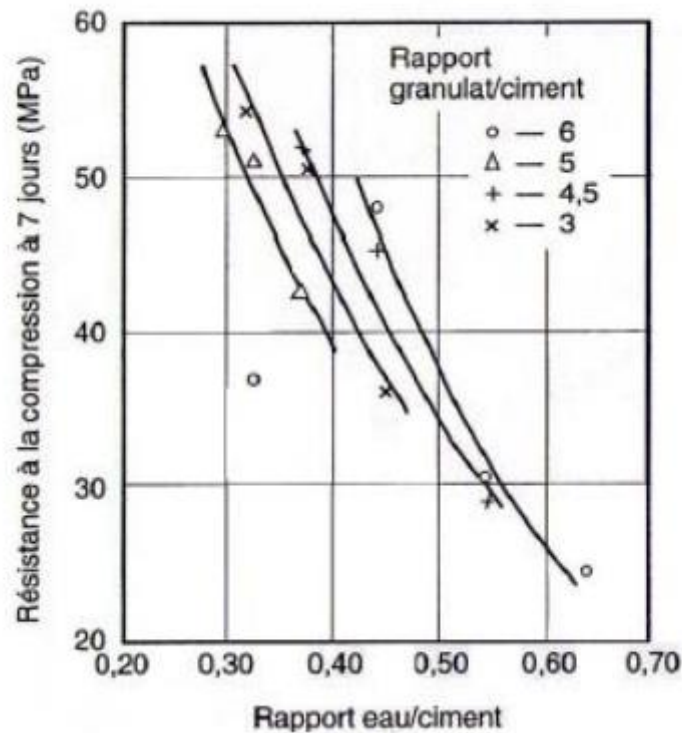


Figure III-16: influence du rapport G/C sur la résistance du béton [26]

Autres études portant sur l'influence de la teneur en granulat sur la résistance des bétons, pour une qualité de pâte de ciment donnée, indiquent que lorsque le volume des granulats (exprimé en pourcentage du volume total) augmente de 0 à 20%, il y a une diminution de la résistance à la compression alors qu'entre 40 et 80% on remarque une augmentation de la résistance [Stock et Col, 1979]. L'allure générale de ce comportement est représentée sur la (figure III-18) Cette tendance se vérifie quel que soit le rapport eau/ciment [29].

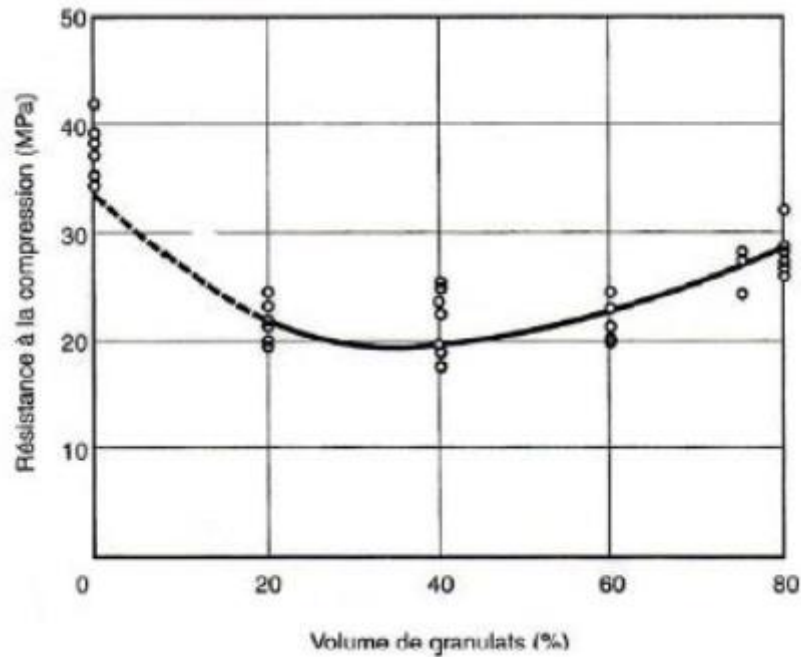


Figure III-17: la relation entre la résistance à la compression de cylindres de béton (10x30 cm) et le volume de granulats pour un rapport E/C constant de 0,5

Stock et Col. (1979) ont aussi publié quelques expériences originales dans lesquelles ils ont réalisé une série de bétons avec différents volumes de granulats de même granulométrie liés par la même matrice de ciment. Ils ont évité la ségrégation dans les mélanges fluides par une mise en rotation des moules après mise en place du matériau. Les essais de résistance à la compression sur les éprouvettes cubiques ont donné des résultats assez dispersés. Il est à noter que l'effet du granulat peut être modifié par une augmentation de l'air occlus quand l'ouvrabilité diminue.

Chapitre 4 : Caractéristique des matériaux et les essais

1^{ère} partie : caractéristique des matériaux

Introduction:

Nous traiterons dans ce chapitre de la caractérisation des matériaux utilisés dans la fabrication des différents mélanges de béton. Nous allons aussi décider de la méthode de composition qui nous permettra d'établir les différentes formulations des mélanges des bétons. Il est fait une description la plus précise des essais réalisés pour caractériser les granulats utilisés. Cela pour nous permettre d'étudier différentes formulations des mélanges dont nous déterminerons les résistances en compression

IV -1- Gravier:

IV -1-1- Origine:

Les granulats utilisés proviennent de carrières de la région de M'sila (carrière COSIDER). Ces granulats sont des matériaux concassés et sont commercialisés en tant que classes granulaires : des gravillons de classes 3/8, 8/16.

IV -1-2- Analyse granulométrique :

➤ **Principe de l'essai :**

La granulométrie ou analyse granulométrique s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la granularité concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulats. La granulométrie ou analyse granulométrique consiste donc à fractionner des granulats au moyen d'une colonne de tamis dont les dimensions des mailles sont normalisées et décroissantes du haut vers le bas entre 16 mm et 0,063 mm [30]

➤ **Mode opératoire:**

- monter la colonne de tamis dans l'ordre décroissant de l'ouverture des mailles en ajoutant le couvercle et le fond
- verser le matériau sec dans la colonne de tamis
- agiter mécaniquement cette colonne
- reprendre un à un les tamis en commençant par celui qui a la plus grande ouverture, en adaptant un fond et un couvercle

Chapitre IV Caractéristique des matériaux et technique expérimentale

- agiter manuellement chaque tamis jusqu'à ce que le refus du tamis ne varie pas de plus de 1% en masse par minute de tamisage • verser le tamisât recueilli dans le fond sur le tamis immédiatement inférieur
- déterminer ainsi la masse du refus de chaque tamis
- poursuivre l'opération jusqu'à déterminer la masse du refus contenu dans le fond de la colonne de tamis
- vérifier la validité de l'analyse granulométrique imposée par la Norme NF EN 933-1 (différence entre la somme des masses de refus et de tamisas et de la masse initiale...)

Les résultats des analyses granulométriques sont représentés :

Fraction 3/8 (1.5Kg)

<i>Tamis (mm)</i>	<i>Refus partiel (g)</i>	<i>Refus cumulés</i>		<i>Tamisât (%)</i>
		<i>(g)</i>	<i>(%)</i>	
8	32	32	2,13	97,87
6,3	411	443	29,53	70,47
5	420	863	57,53	42,47
4	465	1328	88,53	11,47
3,15	141	1469	97,93	2,07
2,5	25	11494	99,6	0,4
Fond	6	1500	100	0

Tableau IV-1 : Analyse granulométrique du gravier 3/8.

Fraction 8/16 (1.5Kg)

<i>Tamis (mm)</i>	<i>Refus partiel (g)</i>	<i>Refus cumulés</i>		<i>Tamisât (%)</i>
		<i>(g)</i>	<i>(%)</i>	
16	43	43	2,86	97,14
12.5	359	402	26,8	73,2
10	715	1117	74,46	25,54
8	326	1443	96,2	3,8
6,3	54	11497	96.2	0.14
5	1	1498	99.86	0.14
Fond	2	1500	100	0

Tableau IV-2:analyse granulométrique du gravier 8/16.

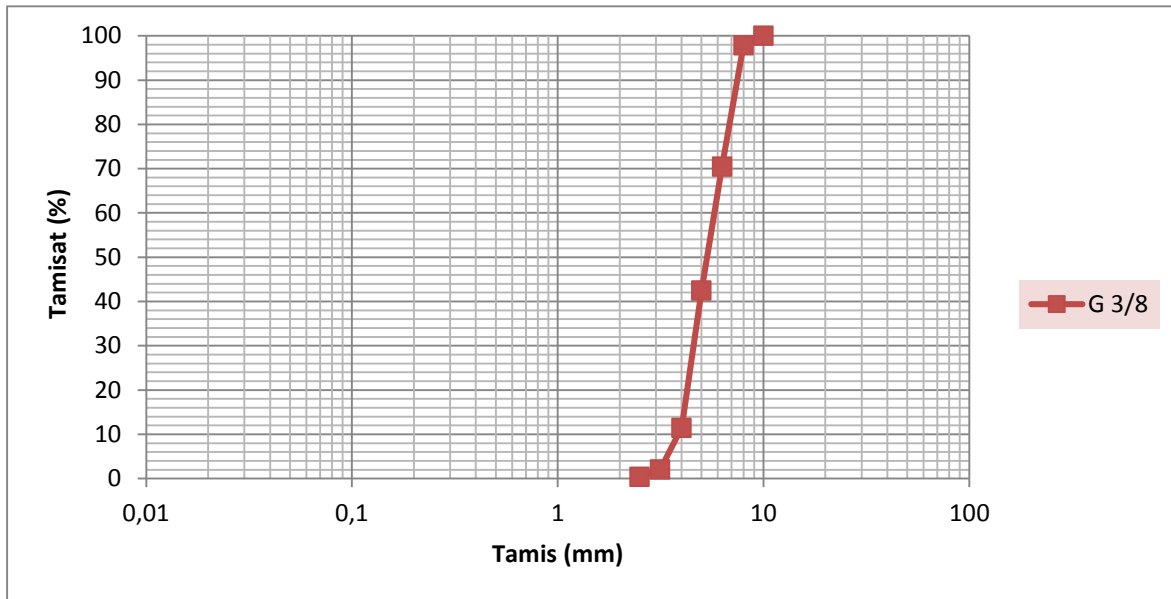


Figure IV-1 : La courbe granulométrique des graviers (3/8).

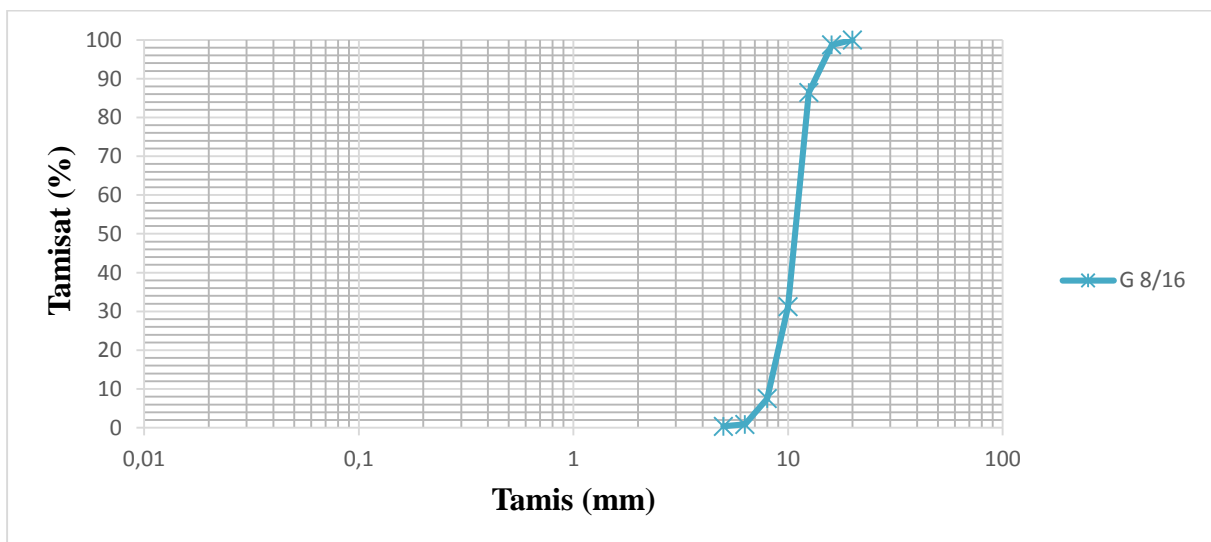


Figure IV -2 : La courbe granulométrique des graviers (8/16).

IV -1-3- Masses volumiques apparentes:

➤ But de l'essai:

Cet essai pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de bétons. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des gravie pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées. [30]

Chapitre IV Caractéristique des matériaux et technique expérimentale

➤ Principe de l'essai:

Le principe de cet essai c'est de remplir un récipient gradué ((7l) pour le G 3/8 - (10l) pour le G 8/16-(20l) pour le G16/25) et déterminer la masse du contenu.

- Récipient gradué.
- balance.
- l'échantillon

➤ Mode opératoire:

Dans cet essai on va faire les étapes suivantes: On met l'échantillon dans le récipient gradué, et on pesé le récipient à l'aide d'une balance. Puis on note les masses et les volumes pour calculer la masse volumique.

La masse volumique apparente est déterminée par la formule suivante :

$$\gamma = \frac{(M_2 - M_1)}{V}$$

Où :

- V: Volume du récipient.
- M₁: Le poids du récipient à l'état vide.
- M₂: Le poids du récipient plein de gravier.

Graviers	N° d'essai	M ₁ (kg)	M ₂ (kg)	ρ _{app} (kg/l)	ρ _{moy} (kg/l)
3/8 V = 7 L	01	2,925	12,898	1,424	1.414
	02	2,925	12,812	1,412	
	03	2,925	12,785	1,408	
8/16 V = 10L	01	3,484	17,729	1,424	1.411
	02	3,484	17,554	1,407	
	03	3,484	17,507	1,402	

Tableau IV-3: Masse volumique apparente du gravier.

IV -1-4- Masses volumiques absolues:

Cet essai est régi par la norme NFP 18-301; elle est défini comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains

➤ But de l'essai :

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de bétons. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaires malaxées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées. Dans ce travail nous avons utilisé la méthode de l'éprouvette graduée, elle est simple, rapide et utilise un matériel courant du laboratoire.[30]

➤ Mode opératoire:

- Remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1 d'eau.
- Peser un échantillon sec M de Gravier (environ 300 g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
- Lire le nouveau volume V_2 .

$$\rho_{abs} = \frac{M}{(V_2 - V_1)}$$

Graviers	N° d'essai	$M_1(g)$	$V_e(cm^3)$	$V(cm^3)$	$\rho_{abs}(g/cm^3)$	$\rho_{moy}(g/cm^3)$
3/8	01	300	200	315	2,57	2,58
	02	300	200	416	2,59	
	03	300	200	415	2,58	
8/16	01	300	200	316	2,66	2,66
	02	300	200	315	2,67	
	03	300	200	314	2,65	

Tableau IV -4: Masse volumique absolue du gravier.

IV -1-5- Absorption d'eau:

La connaissance du coefficient d'absorption d'eau d'un granulat permet d'ajuster la teneur en eau de gâchage entrant dans la composition du béton. Des mesures de l'absorption d'eau par le granulat sont donc été menées suivant le mode opératoire de la norme [NF EN 1097-6, 2001]. Le coefficient d'absorption d'eau est défini comme le rapport de l'augmentation de masse de l'échantillon après imbibition par l'eau à la masse sèche de l'échantillon. Le coefficient d'absorption Abs est ainsi défini par [10]:

$$Abs = \frac{M_{humide} - M_{sech}}{M_{sech}} * 100 \quad (2.1)$$

$M_{humide} - M_{sech}$ désigne la masse de l'eau absorbée après 48 heures d'immersion
 M_{sech} la masse sèche de l'échantillon après passage à l'étuve à 105°C.

Graviers	N° d'essai	M_1 (g)	M_2 (g)	A (%)	A_{moy} (%)
3/8	01	700	705,06	0.72	0.82
	02	700	705,77	0.82	
	03	700	706,53	0.93	
8/16	01	700	707.22	1.03	1.10
	02	700	707.91	1.13	
	03	700	708.12	1.16	

Tableau V -5: Degré d'absorption d'eau du gravier.

IV -1-6- Porosités:

La porosité d'un échantillon de granulats est un paramètre important de formulation d'un béton car elle influence sa compacité, ce qui a un impact sur ses propriétés mécaniques. La valeur de la porosité P pour les différents granulats est calculée par l'intermédiaire de l'équation suivante :

$$P(\%) = \left[1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right] \times 100$$

IV -1-7- La compacité :

donnée par la formule

$$C = (\rho_a / \rho_{ab}) = 100 - P$$

IV -1-8- L'indice des vides :

est donné par la formule suivante :

$$e = \frac{P}{(100 - P)}$$

<i>fraction de gravie</i>	Porosité (%)	Compacité (%)	l'indice de vide
<i>3/8</i>	45.63	54.36	0,839
<i>8/16</i>	45.89	54.10	0.848

Tableau IV -6: Porosité, Compacité Et Indice Des Vides.

IV -1-9- Teneur en eau :

M₁ : masse humide.

M₂ : masse sèche.

$$W = (M_1 - M_2) / M_1 \cdot 100$$

Graviers	N° d'essai	M ₁ (g)	M ₂ (g)	W (%)	W _{moy} (%)
3/8	01	500	499	0,20	0,40
	02	500	498	0,40	
	03	500	498	0,40	
8/16	01	500	498	0,40	0,49
	02	500	497	0.60	
	03	500	498	0.40	

Tableau IV -7: Teneur en eau du gravier.

IV -1-10- Résistance à la fragmentation:

Introduire l'échantillon (M=5000 g) avec le charge de boulets (Diamètre important) 500 rotations (30 à 33 tours/min). Mesurer la masse « m » d'élément < 1,6 mm Coefficient de Os Angeles « LA » :

$$LA = \frac{m}{5000} \times 100$$

Chapitre IV Caractéristique des matériaux et technique expérimentale

- Si $LA < 20$: le gravier très dur.
- Si $20 < LA < 30$: le gravier dur.
- Si $LA > 30$: le gravier faible.

fraction	M1(g)	M2(g)	Nombre des boules	LA
3/8	5000	1431.92	7	28.63
8/16	5000	1118	11	22.36

Tableau IV-8 : Coefficient des los Angeles des graviers

IV -2- Sable :

IV -2-1- Origine du sable :

Le sable de base de notre recherche provient: des abords d'Oued MAITAR (BOUSAADA)

IV -2-2- Composition granulométrique :

Analyse granulométrique correspondant à un sable : Faire l'analyse granulométrique du sable en suivant le mode opératoire de l'analyse granulométrique du gravie. Mais différentes séries de tamis.

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
5	3.5	3.5	0.23	99.77
2.5	65.3	68.8	4.59	95.41
1.25	104.2	173	11.55	88.45
0.63	149.2	331.2	22.18	77.82
0.315	388.5	710.7	47.45	52.55
0.125	705.44	1416.14	94.54	5.46
0.08	61.59	1477.7	98.65	1.35
Fond	20.2	1497.9	100	0

Tableau IV -9 : Analyse granulométrique du sable d'oued (Oued Maitre).

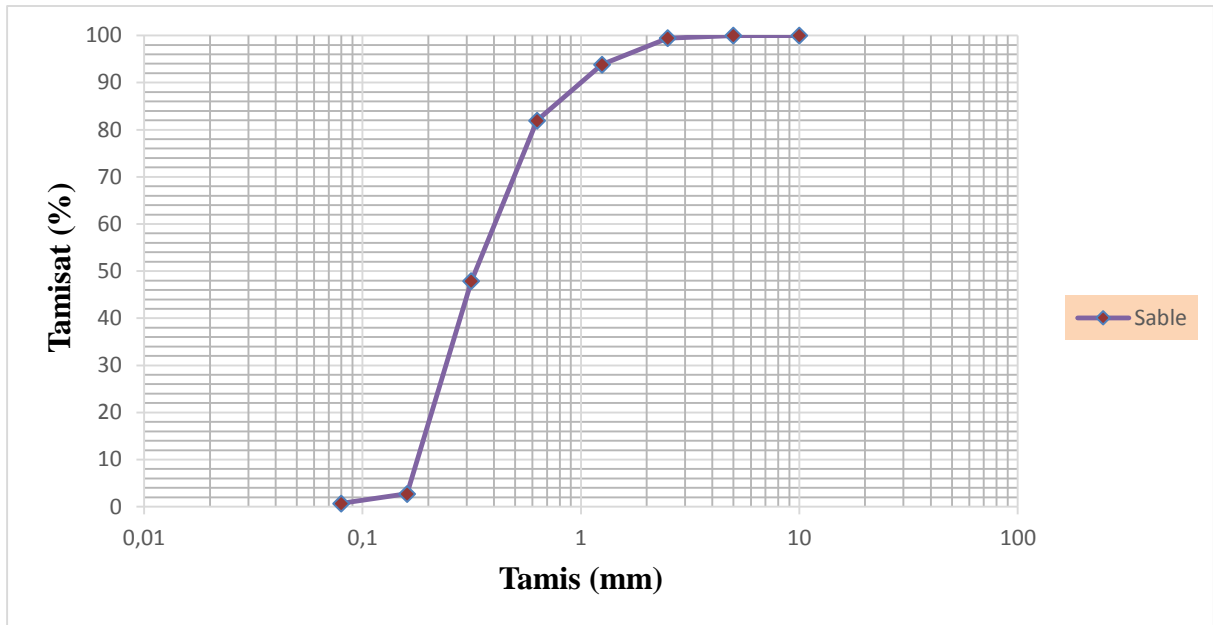


Figure IV -3: La courbe granulométrique du sable (0/5).

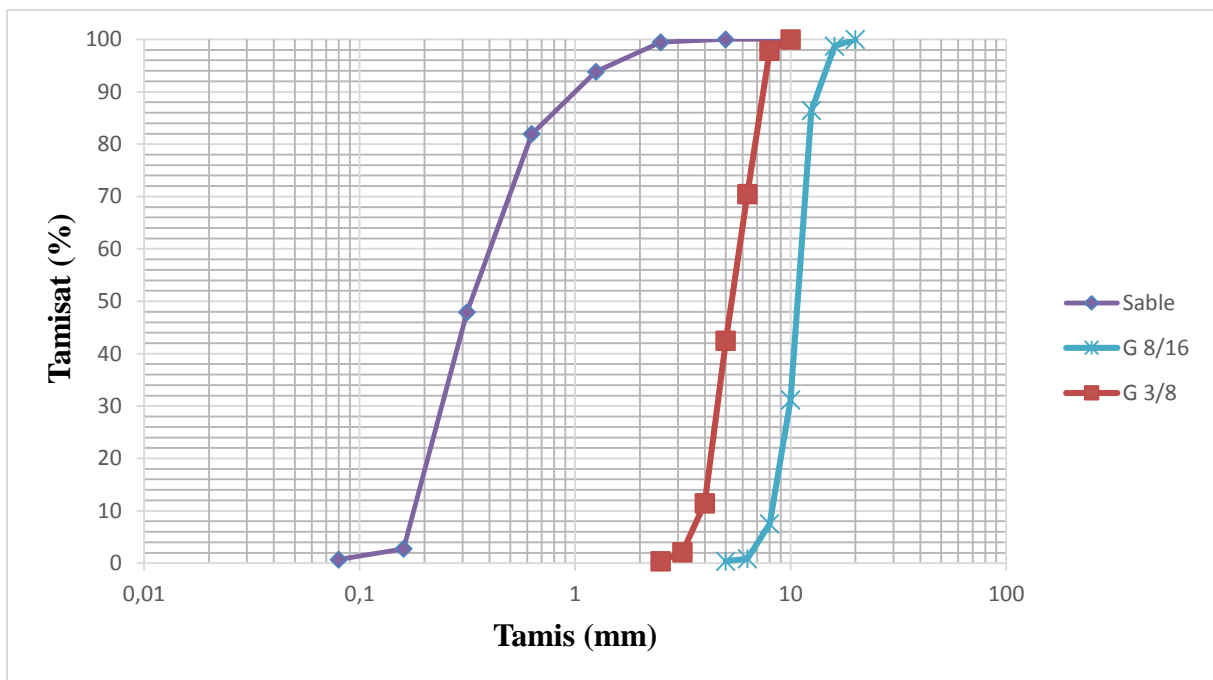


Figure IV -4: Courbes granulométriques des granulats

IV -2-3- Module de finesse :

C'est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis de mailles :

[0.16-0.315-0.63-1.25-2.5 et 5 (mm)] sur 100 et calculé par la relation suivante :

$$M_f = \sum \frac{R_c}{100}$$

Où : R_c : Refus cumulé.

Pour le sable Boussaâda : $Mf = 1.79$

Les normes soviétiques spécifient le Mf des sables comme suit :

- Sable gros $Mf > 2.5$
- Sable moyen $2 < Mf < 2.5$
- Sable fin $1.5 < Mf < 2$
- Sable très fin $1 < Mf < 1.5$

On se basant sur cette classification, on trouve le résultat suivant:

- Pour le sable de Boussaâda Sable fin $1.5 < Mf < 2$ C'est un **sable fin**.

IV -2-4- L'équivalent de sable(NA454):

➤ **Dentition et But de l'essai:**

Cet essai a pour but de mesurer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les loculés fins contenues dans le sable. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantile la propreté de celui-ci

➤ **Principe de l'essai:**

L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du sable à étudier. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. A l'issue de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

- hauteur h_1 : sable propre + éléments fins.
- hauteur h_2 : sable propre seulement (à vue).
- hauteur $h'2$: sable propre seulement (au piston). On en déduit l'équivalent de sable qui, par convention est L'essai dit d'équivalent de sable
- permet de déterminer le degré de propreté du sable : Selon que la hauteur h_2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston,[17].

On détermine ESV (équivalent de sable visuel) ou ES (équivalent de sable au piston)

$$ESV = \frac{h_2}{h_1} \times 100 [\%]$$

$$ESP = \frac{h'_2}{h_1} \times 100 [\%]$$

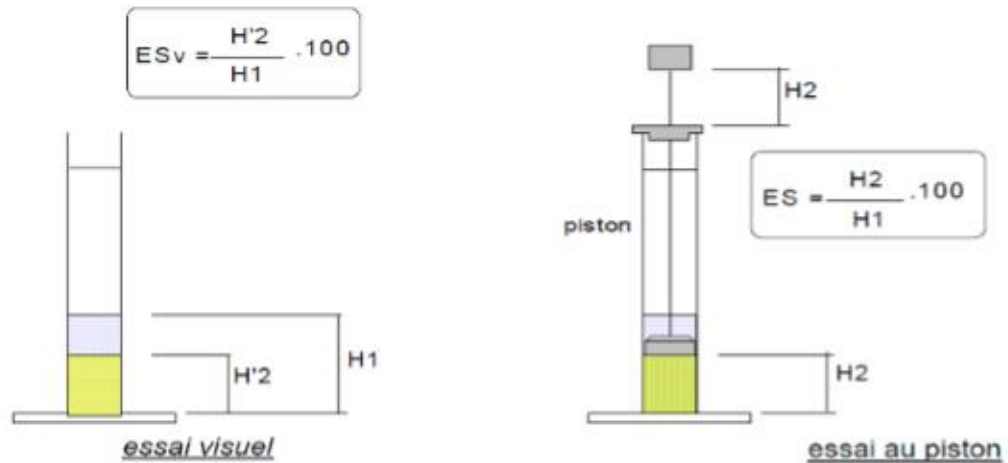


Figure IV-5 : L'essai l'équivalent de sable[10]

➤ **Matériel utilisé:**

Éprouvettes, en matière plastique, avec 2 traits repères (Φ int = 32 mm; h = 430 mm), Entonnoir, tamis, spatule, balance, thermomètre, récipients, Machine agitatrice électrique ou manuelle, Réglet de mesure et piston taré comporte 3 vis formant des butées (masse 1 kg).

➤ **Mode opératoire:**

- remplir les 2 éprouvettes de solution lavante jusqu'au 1er repère, en suite verser la quantité de sable tarée,
- éliminer les bulles d'air en frappant chaque éprouvette contre la paume de la main et laisser reposer 10 minutes,
- boucher les éprouvettes et les agiter d'un mouvement rectiligne, horizontal, sinusoïdale 20cm d'amplitude de à l'aide d'une machine à secouer (90 aller et retour en 30 secondes).
- Levrette remplir les éprouvettes lavé le tube la eurenrinçant le bouchon, lave les parois intérieures de toutes les éprouvettes et laver la masse du sable en y faisant remonter et descendre lentement le tube ainsi les fines remontent en surface,
- on ferme le robinet lorsque la solution atteint le 2eme trait (supérieur) et on sort le tube laveur,
- on laisse reposer 20 minutes en évitant toute vibration,
- on mesure à vue les hauteurs h 1 et h 2 (h 2 est entachée d'incertitude)

Chapitre IV Caractéristique des matériaux et technique expérimentale

- pour effectuer la mesure de façon plus précise, on introduit le piston taré à travers le culât, le manchon prenant appui sur le bord supérieur de l'éprouvette et on l'immobilise au contact du sable,
- mesure $h' 2$,

N° d'essai	h_1 (cm)	h_2 (cm)	ESV (%)	h'_2 (cm)	ESP (%)
01	10.7	8,7	81.31	8,4	78.50
02	10.75	8,8	81.86	8,1	75.35
03	10.7	8,7	81.31	8,4	78.50

Tableau IV -10: Équivalent du sable de Boussaâda.

Pour le sable de Boussaâda : $75\% < E.S.V < 85\%$

$$75\% < E.S.P < 80\%.$$

Ces résultats montrent que le sable utilisé est un sable très propre.

IV -2-5- Masse volumique (absolue) : NF P 18-555

C'est la masse de l'unité de volume de la substance, c'est-à-dire le rapport entre sa masse et son volume absolu.

La masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule:

$$\rho = \frac{M}{V_1} \quad \text{Avec : } M = 300\text{g.}$$

Résultats obtenus :

N° d'essai	M (g)	V_e (cm³)	V_1 (cm³)	ρ (g / cm³)	ρ_{moy} (g / cm³)
1	300	300	421	2,66	2,66
2	300	300	422	2,67	
3	300	300	420	2,65	

Tableau IV -11: Masse volumique absolue du sable de Boussaâda.

- ❖ M : masse de sable.
- ❖ V_1 : volume d'eau + volume de sable.
- ❖ V_e : volume d'eau.
- ❖ ρ : la masse volumique absolue de sable.

IV -2-6- Masse volumique apparente : NF P 18-554

➤ **Masse volumique apparente à l'état lâche:**

C'est la masse du matériau par unité de volume y compris des vides existant entre les grains.

✓ Volume de récipient $V_r = 1000 \text{ cm}^3$.

La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{app} = \frac{(M_2 - M_1)}{V_r}$$

N° d'essai	M ₁ (g)	M ₂ (g)	ρ _{app} (g/cm ³)	ρ _{app} moye (g/cm ³)
01	114.4	1400.8	1,406	1.414
02	114.4	1378.1	1,413	
03	114.4	1370	1.400	

Tableau IV -12 : Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état lâche.

➤ **Masse volumique apparente à l'état compact :**

C'est la masse du matériau par unité de volume après compactage y compris les vides restant entre les grains. Généralement elle est Supérieure à la masse volumique à l'état lâche. La masse volumique à l'état compacte est donnée par la formule suivante :

$$\rho_c = \frac{(M_2 - M_1)}{V_r}$$

Où :

M₁ : Masse du récipient à vide.

M₂ : Masse du récipient plus le sable.

V_r : Volume du récipient.

N° d'essai	M ₁ (g)	M ₂ (g)	ρ _{app} (g/cm ³)	ρ _{app} moy(g/cm ³)
01	114.4	1642.3	1,558	1,563
02	114.4	1643.5	1,559	
03	114.4	1644.2	1,566	

Tableau IV -13: Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état compact.

IV -2-7- Porosité : (NF P 18-554)

C'est le volume des vides entre les grains du sable. La porosité peut être déterminée par la formule suivante :

$$P (\%) = 100 - (\text{Masse volumique apparente} / \text{masse volumique absolue}) \times 100$$

$$P (\%) = \left[1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right] \times 100$$

On distingue deux cas :

Pour le sable de Boussaâda :

- État lâche : ρ_L = **49.24%**.

Chapitre IV Caractéristique des matériaux et technique expérimentale

- État compacte : $\rho_c = 38.84\%$.

IV -2-8- Compacité :

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume Réellement occupé par la matière solide qui le constitue, c'est-à-dire le rapport du volume absolu des grains au volume apparent du matériau.

La compacité donnée par la formule :

$$C = (\rho_a / \rho_{ab}) = 100 - P$$

On distingue deux cas :

Pour le sable de Boussaâda :

- État lâche : $C_L = 50.76\%$.
- État compacte : $C_c = 61.16\%$.

IV -2-9- L'indice des vides :

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide.

$$e = V_v/V_s = P / (100 - P).$$

Avec P en pourcent (%).

Pour le sable de Boussaâda :

- État lâche : $e = 0,972\%$
- État compacte : $e = 0,635\%$

Les résultats de la porosité, la compacité et l'indice de vide sont regroupés dans les tableaux suivants :

Porosité		Compacité		Indice des vides e%	
P%		C%		vides e%	
Lâche	Compact	Lâche	Compact	Lâche	Compact
48.24	37.84	50.76	61.16	0.98	0.64

Tableau IV-14 : la porosité, la compacité et l'indice de vide Pour le sable de Boussaâda.

IV -3- Ciment :

Le ciment de base utilisé dans notre recherche, est un ciment

CRS de classe **42.5** provient de la cimenterie AIN ALKBIRA wilaya de setif

IV -3-1 Caractéristiques du ciment CRS-CEM I:

IV -3-1 Description :

Le **CRS** est un ciment Portland résistant aux sulfates de classe 42,5 «CPA-CEM I CRS 42,5», c'est un ciment de référence, il contient au moins 95 % de clinker et Le reste est composé de constituants secondaires tel que le gypse comme Régulateur de prise, ses

Chapitre IV Caractéristique des matériaux et technique expérimentale

caractéristiques physiques, chimiques et minéralogiques sont données par les Tableaux suivants.

IV -3-2- Caractéristiques mécaniques et physiques du ciment utilisé :

Les caractéristiques du CRS sont regroupées dans le tableau suivant:

		<i>Unités</i>	<i>Valeur</i>
<i>Masse volumique absolue</i>		g/cm ³	3.17
<i>Consistance normale</i>		%	27.8
<i>La finesse (Blaine)</i>		Cm ² /g	3673
<i>Le Chatelier</i>	A froid	mm	00
	A chaud		1
<i>Temps de prise</i>	Début	Heur : min	2 : 20
	Fin		4 : 37
<i>Résistance à la compression</i>	2 jours	MPa	18
	7 jours		37
	28 jours		Plus de 42.5

Tableau IV-15 : Caractéristiques du CRS.au laboratoire de cimenterie d'Ain El Kebira. Sétif

IV -3-3- Les caractéristiques chimiques du ciment utilisé:

L'analyse chimique et minéralogique du CRS est établie au Laboratoire de S.C.A.E.K Les résultats sont regroupés dans les tableaux

Suivants :

<i>ELEMENT</i>	<i>SiO₂</i>	<i>Al₂O₃</i>	<i>CaO</i>	<i>Fe₂O₃</i>	<i>MgO</i>	<i>SO₃</i>	<i>K₂O</i>	<i>PaF</i>
<i>Teneur (%)</i>	21.9	4.68	64.91	5.32	1.50	2.07	0.31	1.14

Tableau IV-16:Caractéristiques chimiques du CRS.

Éléments	C3S	C2S	C3A	C4AF
	3CaOSiO ₂	2CaOSiO ₂	3CaAl ₂ O ₃	4CaOAl ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃
Teneur %	52.13	23.55	6.76	12.13

Tableau IV-17:Caractéristiques minéralogique du CRS

Chapitre IV Caractéristique des matériaux et technique expérimentale

IV -4- Les adjuvants :

Les adjuvants sont des produits incorporés au moment du malaxage du béton à un dosage inférieur ou égale à 5 % en masse du poids de ciment pour modifier ou améliorer les propriétés du mélange à l'état frais et ou du béton durci, (norme NF EN 934 – 2).

Dans notre étude on a utilisé les super-plastifiants à savoir :

MEDAFLOW 30 de GRANITEX (super-plastifiant)

IV-4-1- MEDAFLOW 30:

IV-4-1-1- Description:

Le MEDAFLOW 30 est un super-plastifiant haut réducteur d'eau, il est conçu à base de Polycarboxylates combinés.

Il peut être utilisé dans plusieurs domaines à savoir :

- bétons auto-plaçant.
- Réduction du temps de décoffrage.
- Bétons précontraints.
- Bétons architecturaux.

Son utilisation permet :

A- sur le béton frais :

- l'amélioration de fluidité
- le décoffrage rapide
- de faciliter la mise en œuvre

B- sur le béton durci :

- d'augmenter la résistance mécanique à jeune âge
- de diminuer la porosité
- de diminuer le retrait
- d'augmenter la durabilité

IV-4-1-2- Caractéristiques:

Nature	Couleur	PH	Densité	Teneur en chlore	Extrait sec
Liquide	Jaunâtre	6.2	1.07	< 1g/L	20%

Tableau IV-18 : Caractéristiques du MEDAFLOW 30.

IV-4-1-3- Dosage :

La page de dosage recommandée est :

1,0 à 2,5% du poids de ciment, soit 1L à 2,5L par 100 Kg de ciment..

Chapitre IV Caractéristique des matériaux et technique expérimentale

IV-4- Léau de gâchage :

L'eau de gâchage utilisé est une eau de robinet du laboratoire de département de génie civil.

IV -5- Le laitier :

Dans notre étude nous avons utilisé le laitier granulé de haut fourneau du complexe sidérurgique

D'El-Hadjar, Wilaya d'ANNABA. Son broyage et son analyse chimique sont effectués au sein

Module	Formule	Valeur	Commentaires
Module de basicité (Mb)	$\frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3}$	0.795	
Module d'activité (Ma)	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$	0.247	0.17 < Ma < 0.25, donc le laitier est basique

Tableau IV-19 : la qualité du laitier

De laboratoire de la cimenterie d'Ain El Kebira. Le tableau 36 montre l'analyse chimique du Laitier tandis que le tableau montre la qualité du laitier.

➤ Les caractéristiques chimiques :

Les analyses des compositions chimiques et minéralogiques moyennes du laitier granulé de haut fourneau, sont effectuées au laboratoire de la cimenterie d'Ain El Kebira, Wilaya de Sétif.

Élément	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	MgO	SO_3	K_2O
Teneur (%)	32.0 5	07.92	30.01	03.02	01.78	0.96	0.246

Tableau IV-20 : Les compositions chimiques du laitier

➤ **La masse volumique absolue et la surface spécifique de Blaine :**

• **La masse volumique absolue :**

N° d'essai	M réelle (g)	V (cm ³)	ρ_{abs} (g/cm ³)	ρ_{abs} moy (g/cm ³)
01	64.29	22.2	2,896	2,926
02	64	21.65	2,956	

Tableau IV-21 : la masse volumique absolue

• **La surface spécifique de Blaine :**

$$SSB = 3800 \text{ cm}^2 / \text{g}$$

IV-6 La pouzzolane :

- Les caractéristiques physiques de la pouzzolane naturelle d'origine volcanique extraite du gisement de Bouhamidi (Beni Saf) sont illustrées dans le tableau (IV-22) suivant

Caractéristiques physiques	Unité	Valeurs
masse volumique apparente	g/cm ³	0.98
masse volumique absolue	g/cm ³	2.75
surface spécifique Blaine	cm ² /g	3560
pouzzolannicite	%	85
absorption	%	58.70
porosité	%	57.10
humidité	%	2.50
perte au feu	%	5.60

Tableau IV-22 : Caractéristiques physiques de la pouzzolane

Le tableau (IV-23) illustre à son tour la composition chimique de la pouzzolane naturelle.

Composants	Teneurs en %
SiO ₂	45.21
AL ₂ O ₃	17.85
CaO	9.99
Fe ₂ O ₃	9.84
MgO	4.38
SO ₄	-
Cl	-
Perte au feu	3.91

Tableau IV-23 : Composition chimique de la pouzzolane

2^{eme} partie : Technique expérimentale

Introduction :

Dans ce chapitre, on présente la méthode que détermine la composition des différents types de béton utilisés dans cette étude, ainsi que les calculs de formulation de notre type de béton et ensuite on expose les différents essais destructifs avec leurs procédures.

IV -1- La formulation des bétons :

Le calcul de la composition du béton a pour but de déterminer le dosage en ciment, granulats (fins et gros) et en eau pour un dosage de 1m^3 de béton frais, afin d'obtenir un mélange homogène et d'une capacité élevée, ainsi qu'une résistance mécanique acceptée.

Il existe plusieurs méthodes de détermination la composition du béton proposé et appliqué dans les différentes pays du monde, permis ces méthodes on peut citer :

- Méthode de BOLOMEY (méthode à granularité continue).
- Méthode de FAURY
- Méthode de JOISEL
- Méthode de VALETTE
- Méthode de DREUX GORISSE
- Méthode des volumes absolus
- Méthode générale du CES (centre d'essai des structures)

L'objectif de toutes les méthodes de formulation des bétons est de déterminer la combinaison de matériaux à utiliser pour produire le béton qui aura les propriétés désirées et qui sera le plus économique possible. [10]

Dans notre travail nous utiliserons la méthode pratique de **DREUX –GORISSE**

IV -1-1-Méthode de formulation de Dreux- Gorisse :

C'est une méthode pratique simplifiée appliquée pour l'étude d'un béton. Nous rappelons que cette méthode n'a pour but que de permettre de définir d'une façon simple et rapide une formule de composition à peu près adaptée au béton étudié, mais que seules quelques gâches d'essai et la confection d'éprouvettes permettent d'ajuster au mieux la composition à adopter définitivement en fonction des qualités souhaitées et des matériaux effectivement en fonction des qualités souhaitées et des matériaux effectivement utilisés.[10]

Données de base :

1- Dosage en ciment et en eau :

❖ Résistance visée :

Par sécurité, la résistance visée, représente une majoration de 15% de la résistance désirée.

Chapitre IV Caractéristique des matériaux et technique expérimentale

Ainsi la résistance visée,

$$F'_c = F_{c28} + 15\% F_{c28}$$

$$F'_c = 1.15 F_{c28}$$

❖ Dosage en ciment et en eau :

Le dosage en eau et ciment dépend de la résistance visée, et de la qualité du ciment et des granulats.

Ainsi expérimentalement, on établit une relation entre l'ensemble de ces paramètres.

$$F'_c = \sigma_c \cdot G \cdot (C/E - 0,5)$$

Avec:

- F'_c : résistance visée à 28 jours
- C : dosage du ciment en kg/m^3 de béton
- E : dosage de l'eau en l/m^3 de béton
- σ_c : Classe vraie du ciment en MPa
- G : coefficient granulaire. Ce coefficient représente la qualité des granulats.

Expérimentalement, il est établi que cette qualité dépend du granulat, mais également de son diamètre selon les valeurs suivantes :

Qualité des granulats	Dimension D des granulats		
	$D \leq 12,5$	$20 \leq D \leq 31,5$	$D \geq 50$
	Fins	Moyens	Gros
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne	0,45	0,50	0,55
Passable	0,35	0,40	0,45

Tableau IV-24: Valeurs approximatives du coefficient granulaire

Cette relation permet de déterminer le rapport C/E :

$$C/E = F'_c / (\sigma_c \cdot G) + 0,5$$

Il est à observer au travers cette relation que le dosage en ciment est d'autant plus important que la résistance visée du béton soit forte. Inversement, le dosage en ciment diminue lorsque la résistance du ciment augmente. Pour une résistance

Chapitre IV Caractéristique des matériaux et technique expérimentale

visée, Il y a également moins besoin de ciment lorsque la qualité ou la dimension des granulats augmentent.

Le problème consiste à délier le dosage en ciment du dosage en eau.

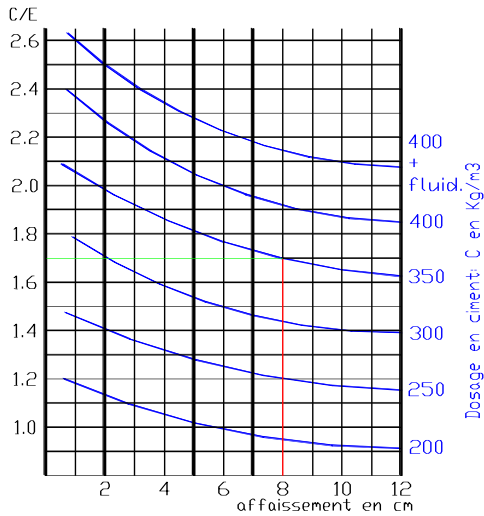


Figure IV-6 : Dosage approximatif en ciment en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée.

Le dosage en eau dépend également de l'ouvrabilité désirée. Ainsi en intégrant l'ouvrabilité désirée, expérimentalement, et à partir du rapport C/E, il est possible de déterminer le dosage en ciment par l'abaque suivant. La détermination du dosage en ciment s'obtient par cet abaque à double entrée. En abscisse, la valeur de l'affaissement désirée est entrée et en ordonnée le rapport, C/E. L'intersection des deux entrées, indique la sortie, la courbe donnant le dosage en ciment en kg. Par exemple, pour un béton classique, c'est-à-dire un B25P, le rapport C/E=1.7 A=8cm.

L'intersection de ces deux entrées se fait sur la courbe du dosage à 350kg de ciment.

Le dosage en ciment pour obtenir 1m³de béton en place est de 350kg.

Le dosage en eau s'en déduit : C/E=1.7 avec C=350kg, $E=C/1.7 \Rightarrow E=350/1.7=206$ kg d'eau, soit 206.l d'eau.

Il est à observer que plus l'ouvrabilité désirée est importante plus il faut d'eau et plus il faut de ciment.

De même le dosage en ciment est limité à 400 kg/m³ de béton en place. Au-delà le ciment et l'eau seraient en trop forte concentration dans le béton. Cela aurait pour effet de produire des fissures de retrait.

Ainsi, pour des rapports C/E et une ouvrabilité à atteindre qui nécessiteraient plus de 400 kg de ciment, le dosage en ciment est limité à 400 kg et l'ouvrabilité désirée est atteinte en ajoutant un fluidifiant au béton.

❖ Ajustement du dosage en eau :

Le dosage en eau est à ajuster. En effet L'eau doit pouvoir humidifier tous les grains du mélange. Or pour humidifier un grain, il faut d'autant plus d'eau que son diamètre est petit. La quantité d'eau dépend donc également du diamètre des grains à humidifier. Le dosage en eau déterminé est indiqué pour mouiller tous les grains du mélange granulaire d'un diamètre représentatif maximal, $D=25\text{mm}$. Pour les autres diamètres, il faut majorer ou minorer ce dosage selon ce diamètre, D .

Diamètre en (mm)	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50
Correction en(%)	+9	+6	+4	+2	0	- 2	-4	-6

Tableau IV-25:Correction du dosage en eau selon le diamètre, D du mélange granulaire.

Ainsi pour un mélange granulaire de diamètre, $D=20\text{mm}$, il faut majorer le dosage en eau de 2%. Pour un dosage initial de 206 litre d'eau le dosage doit être augmenté à $E=206 \times 1.02=210$ litre.

2- Dosage en pourcentage des granulats :

On trace la courbe granulaire de référence sur un graphique d'analyse granulométrique type AFNOR (linéaire en module et logarithmique en dimension des granulats), la courbe peut être entièrement déterminée à partir de seulement trois points appelés respectivement, O, origine, A, point de brisure, et B, extrémité.

Pour les granulats à béton, il apparaît que les points O et B, sont invariables quel que soit les proportions du mélanges.

Le point d'origine, O est fixé à 0% de tamisâtes sur le plus petit tamis, 0.080mm. Ce point est repéré par ses coordonnées : O [0.080 ; 0].

De même, le d'extrémité, B se situe sur le tamis, D du gravier, avec 100% de tamisâtes. Ce point est repéré par ses coordonnées : B [D ; 100].

Pour le point de brisure A, il apparaît que le tamis sur lequel il se situe est invariable quelques soit les proportions du mélange.

En observant de plus près, il apparaît que ce tamis se situe à $D/2$, si $D \leq 20 \text{ mm}$, et au milieu de l'intervalle [5 ; D] si $D > 20$

Chapitre IV Caractéristique des matériaux et technique expérimentale

Il reste à déterminer le pourcentage de tamisâtes du point de brisure. Cette position dépend des proportions du mélange. Or, les proportions du mélange influent sur la compacité du béton et par conséquent sur sa résistance.

Le problème consiste donc à déterminer l'ordonnée du point de brisure qui permettra de donner la meilleure compacité au béton. Cette position est optimisée par la méthode DREUX-GORISSE. L'ordonnée optimisée du point de brisure, YA est déterminée par la relation suivante :

$$YA=50-\sqrt{D+K+Ks+Kp}$$

Cette relation prend en compte l'influence de la forme des granulats, du dosage en ciment, de la vibration, de la finesse du sable et de la mise en œuvre du béton par une pompe à béton sur la compacité du béton et sa facilité de mise en œuvre.

K, optimisation de la compacité en fonction du type de vibration, de la forme des granulats, et du dosage en ciment, voir tableau (V.30).

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage +f ciment	400	-2	0	-4	-2	-6	-4
	400	0	+2	-2	0	-4	-2
	350	+2	+4	0	+2	-2	0
	300	+4	+6	+2	+4	0	+2
	250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
	200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

Tableau IV-26: Valeur correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de la vibration et de l'angularité des granulats.

Le volume absolu de l'ensemble des granulats est: $V_{abs}=1000\gamma - V_c$

Avec :

V_c : volume du ciment et $V_c=C/ \rho_c$. (ρ_c : masse spécifique du ciment).

Chapitre IV Caractéristique des matériaux et technique expérimentale

Les volumes absolus de chacun des granulats sont par suite :

Sable : $V_s(\text{en litre}) = P_s\% \times (\gamma)$ ou P_s : le % du sable obtenu à partir de la courbe granulométrique.

Gravier : $V_g(\text{en litre}) = P_g\% \times (\gamma)$ ou P_g : le % du gravier obtenu à partir de la courbe granulométrique.

Si les masses spécifiques de chacun de ces granulats sont ρ_s et ρ_g , les masses de chacun d'eux seront :

Sable : $M_s (\text{Kg}) = V_s \rho_s$

Gravier : $M_g (\text{Kg}) = V_g \rho_g$

La masse totale des granulats : $M_t = M_s + M_g$. [10].

IV -2- Détermination des compositions de béton utilisé (béton ordinaire) :

La formulation de la composition des bétons a été faite d'après la méthode « DREUX GORISSE » basée sur l'analyse granulométrique (sable et différentes fractions de gravier).

Données de bases :

A. Dosage de ciment : $C = 350 \text{ Kg/m}^3$

- et le rapport $C/E = 1.92$
- le dosage en eau : $E = 400 / 1.92 = 208.33 \text{ l/m}^3$

B. Caractéristiques techniques du sable :

Masse volumique, Masse spécifique et module de finesse qui est égale à 1.8

C. Caractéristiques techniques des granulats :

- Dimension maximale des granulats ($D_{\text{max}} = 16 \text{ mm}$).
- Les granulats concassés et roulés.
- Masse volumique apparente et masse spécifique.

Sur le graphe d'analyse granulométrique on trace la courbe granulaire de référence OAB.

Chapitre IV Caractéristique des matériaux et technique expérimentale

- Point B à l'ordonnée 100% correspond à la dimension D des plus gros granulats.

Sur le graphe d'analyse granulométrique on trace la courbe granulaire de référence OAB.

- Point B à l'ordonnée 100% correspond à la dimension D des plus gros granulats.

$$\text{Point B : } \begin{cases} X=16 \text{ mm} \\ Y=100 \% \end{cases}$$

- Point de brisure A à pour coordonnées :

- En l'abscisse :

$$D \leq 25, X=D/2,$$

- En ordonnée :

$$Y=50-\sqrt{D+K} +Ks +Kp$$

Les valeurs de K et Ks et Kp sont données par des tableaux.

$$\text{Point A: } \begin{cases} X= D/2=16/2=8\text{mm} \\ Y=50-\sqrt{D+K} + Ks+ Kp \end{cases}$$

$$Y=50-\sqrt{16} -2 =44 \%$$

- coefficient de compacité γ :

$$\left\{ \begin{array}{l} D = 16 \\ \text{Béton plastique} \quad \gamma = 0,825 \\ \text{Vibration normale} \end{array} \right.$$

Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon il conviendra d'apporter les corrections suivantes :

- sable roulé et gravier concassé = - 0.01 ;

$$\text{Donc } \gamma = 0.825 - 0.01$$

Chapitre IV Caractéristique des matériaux et technique expérimentale

$$\gamma = 0.815$$

Volume absolu total 1000 . $\gamma = 820$ litres.

➤ détermination de volume des granulats:

$$V_C = C/3,10 = 400/3,10 = 129.32 \text{ l/m}^3$$

$$V_g = V_T - V_C$$

$$V_g = 1000\gamma - V_C$$

$$V_g = 820 - 129.032 = 690.968 \text{ litres}$$

$$V_g = 690.968 \text{ l/m}^3$$

➤ détermination du volume absolu de chaque granulat:

* Volume absolu du sable = $690.968 \times 0.35 = 241.339$ litres

* Volume absolu de gravier (3/8) = $690.968 \times 0.09 = 62.187$ litres

* Volume absolu de gravier (8/15) = $690.968 \times 0.56 = 386.942$ litres

Les masses spécifiques sont :

* Sable = 2.57 g/cm^3

* Gravier (3/8) = 2.66 g/cm^3

* Gravier (8/16) = 2.66 g/cm^3

➤ Les dosages en matériaux secs seront donc en kg/m^3 :

Notre béton a été formulé d'après la méthode de **DREUX-GORISSE**.

Les constituants et leurs quantités sont présentés au tableau suivant :

Constituants	Quantité Kg/m^3
Ciment	350
Gravier (3/8)	150.470
Gravier (8/16)	972.10
Sable (0/5)	636.033
Eau	205.88
Super plastifiant (1.5%)	197

Tableau IV-27: La composition d'un 1m^3 de béton ordinaire $C=350\text{kg}$. $A_f=8$

Constituants	Quantité Kg/m ³
Ciment	350
Gravier (3/8)	150.470
Gravier (8/16)	972.10
Sable (0/5)	636.033
Eau	205.88
Super plastifiant (1.5%)	197
Laitier (15%)	52,5

Tableau IV-28: La composition d'un 1m³ de béton ordinaire C=350kg+ Laitier (15%).Af=8

Constituants	Quantité Kg/m ³
Ciment	350
Gravier (3/8)	150.470
Gravier (8/16)	972.10
Sable (0/5)	636.033
Eau	205.88
Super plastifiant (1.5%)	197
Pouzzolane (15%)	52,5

Tableau IV-29: La composition d'un 1m³ de béton ordinaire C=350kg +Pouzzolane (15%).Af=8

Constituants	Quantité Kg/m ³
Ciment	450
Gravier (3/8)	161.556
Gravier (8/16)	1041.141
Sable (0/5)	572.331
Eau	209.30
Super plastifiant (1.5%)	253

Tableau IV-30: La composition d'un 1m³ de béton ordinaire C=450kg.Af=8

Constituants	Quantité Kg/m ³
Ciment	450
Gravier (3/8)	161.556
Gravier (8/16)	1041.141
Sable (0/5)	572.331
Eau	209.30
Super plastifiant (1.5%)	253
Laitier (15%)	67,5

Tableau IV-31: La composition d'un 1m³ de béton ordinaire C=450kg + Laitier (15%).Af=8

Constituants	Quantité Kg/m ³
Ciment	450
Gravier (3/8)	161.556
Gravier (8/16)	1041.141
Sable (0/5)	572.331
Eau	209.30
Super plastifiant (1.5%)	253
Pouzzolane (15%)	67,5

Tableau IV-32: La composition d'un 1m³ de béton ordinaire C=450kg+ Pouzzolane (15%).Af=8

IV -2-1-Les quantités du Constituants de nos bétons :

- **béton témoin** : formuler 30éprouvette cubique V=0.0375 . Exemple d'un collage de conservation à l'eau (résistance mécanique)

C=350		C=450	
Constituants	Quantité	Constituants	Quantité
Ciment	13,125 kg	Ciment	16,875 kg
Gravier (3/8)	5,64 kg	Gravier (3/8)	6,05kg
Gravier (8/16)	36,41kg	Gravier (8/16)	39,04kg
Sable (0/5)	19,54 kg	Sable (0/5)	21,46 kg
Eau	7,72L	Eau	7,84 L
Adjuvant	197g	adjuvant	253 g

Tableau IV-33 : les quantités des constituants du béton témoin étudié

IV -2-2-Préparation de mélange :

On peut résumer les étapes d'obtention notre béton comme suit

- verser le gravier, le sable et le ciment dans le malaxeur (un malaxeur à un axe vertical tournant).
- Le malaxeur mélange à sec les composants pendant une minute.
- Introduire **50%** de la quantité d'eau avec l'adjuvant avec le malaxage 2 min.
- Ajouté le reste d'eau et malaxer pendant 3 minutes.

➤ **Mode opératoire de traitement par étuvage :**

- Après démoulage des éprouvettes du deux type de bétons (BT, B15%laitier, B15%pouzzolane)
- Doit être mis dans une étuve à une température différente 50 et 60 °C.
- Conserver a l'air jusqu' à l'âge de d écrasement ou mesure du pourcentage de porosité

IV -3- Conservation des éprouvettes :

Après **24 h** de la confection des éprouvettes et après le décoffrage on les conserve dans :

- dans l'eau de robinet.
- à l'air libre.
- à l'air libre après l'étuvage.

IV-4- Essai sur béton :

On appelle béton la pierre artificielle obtenue grâce au durcissement d'un béton mélange de liant, d'eau et d'agrégats (sable et pierre concassée ou gravier) choisi de façon rationnelle.

L'ensemble de ces matériaux avant durcissement s'appelle mélange du béton

Pour contrôler la qualité du béton il faut le contrôler à ses deux états, frais et durci. [30]

IV-4-1- Contrôle du béton à l'état frais :

Définition :

Le Béton est matériau de construction formé par un mélange de ciment, de granulats et d'eau, éventuellement complété par des adjuvants et des additions. Ce mélange, qui est mis en place sur le chantier ou en usine à l'état plastique, peut adopter des formes très diverses parce qu'il est modulable, il durcit progressivement pour former finalement un monolithe. Selon sa formulation, sa mise en œuvre et ses traitements de surface, ses performances et son aspect peuvent considérablement varier. [30]

IV-4-1-1-Essai d'affaissement au cône d'abrams "slump-test" :(NF P 18-451)

C'est l'essai le plus couramment utilisé car il est très simple à mettre en œuvre, il est tant que la dimension des granulats ne dépasse pas 40 mm

Chapitre IV Caractéristique des matériaux et technique expérimentale

➤ Principe de l'essai :

Il s'agit de constater l'affaissement d'un cône de béton sous l'effet de son propre poids. Plus cet affaissement sera grand est plus le béton sera réputé fluide.

➤ Équipement nécessaire :

L'appareillage est complètement décrit dans la norme NF P 18-541, il se compose de 4 éléments :

- Un moule tronconique sans fond de 30cm de haut, de 20cm de diamètre en sa partie inférieure se de 10 cm de diamètre en sa partie supérieure.
- Une plaque d'appui.
- Une tige de piquage.
- Un portique de mesure.

➤ Conduite d'essai :

La plaque d'appui est légèrement humidifiée et le moule légèrement huilé est fixé. Le béton est introduit dans le moule en trois couches d'égales hauteurs qui seront mises en place au moyen de la tige de piquage actionnée 25 fois par couche (la tige doit pénétrer la couche immédiatement inférieure). Après avoir arasé en roule la tige de piquage sur le bord supérieur de moule, le démoulage s'opère en soulevant le moule avec précaution. Le béton n'étant plus maintenu s'affaisse plus moins suivant sa consistance. Celle-ci est caractérisée par cet affaissement, noté A ; mesuré grâce au portique et arrondi au centimètre le plus proche, la mesure doit être effectuée sur le point le plus haut du béton et dans la minute qui suit le démoulage.

Classe de consistance	Affaissement (cm)	Tolérance (cm)
Ferme (F)	1 à 4	±1
Plastique (P)	5 à 9	±2
Très plastique (T.P)	10 à 15	±3
Fluide (FL)	≥16	±3

Tableau IV-34 : appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône.

IV-4-1-2- La masse volumique du béton à l'état frais :

La détermination de la masse volumique, selon AFNOR A23, 2-6C, permet d'effectuer une correction éventuelle du mélange réalisé à partir des pesées respectives des matériaux utilisées lors du malaxage.

Peser 3 moules avant et après leur remplissage pour déterminer la masse volumique de béton à l'état frais.

IV-4-2- Contrôle du Béton à l'état durci :

IV-4-2-1-La masse volumique a L'état durci :

On à déterminer la masse volumique après avoir retiré les éprouvettes des bacs et les avoir laissé à l'air libre pendant 20 minutes pour séchage. Juste avant l'écrasement aux différents âges, on a déterminé la masse volumique en pesant les éprouvettes.

La masse volumique est donne par la relation suivant : $\rho = M / V$

Avec :

M : la masse de l'éprouvette.

V : volume de l'éprouvette

IV-4-2-2- Essai de compression (NF P 18-406)

➤ But de l'essai :

Le but est de déterminer la résistance à la compression du béton.

L'essai se fait sur une éprouvette cylindrique de dimensions normalisées et élancement de 2 ($H=2\varnothing$) ou éprouvette cubique $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$.

Les dimensions les plus utilisées sont $H=32 \text{ cm}$, $\varnothing=16 \text{ cm}$. [30]

➤ Principe de l'essai :

Après malaxage, on remplit en béton un moule cubique normalisé, le remplissage du moule se fera en 3 couches bien vibrées chacune.

L'éprouvette sera immergée dans un bac d'eau pour durcir à température moyenne de 20°C .

Le démoulage se fera après un 24 heures. La résistance à 28 jours

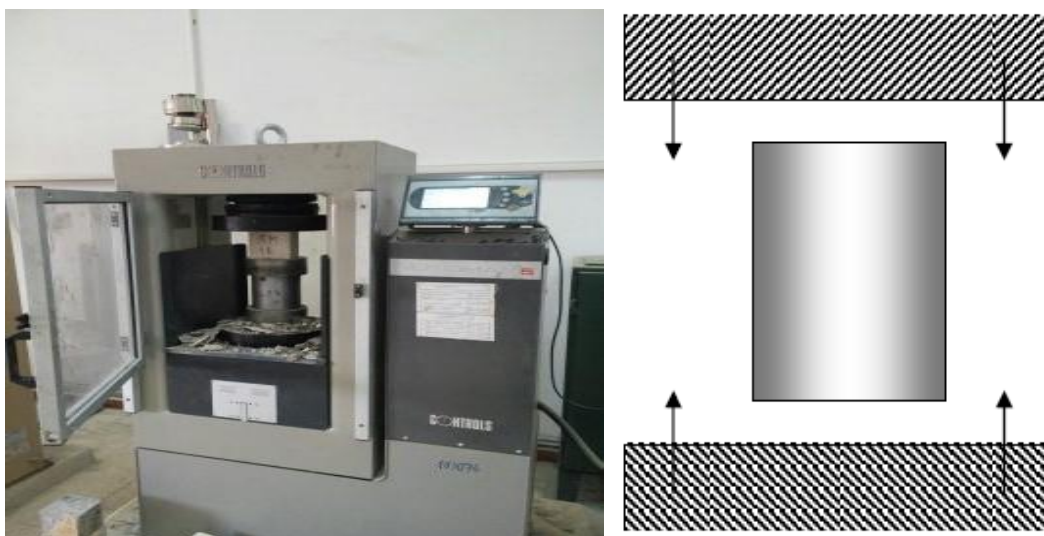


Figure IV-7 : presse hydraulique de compression.

Chapitre IV Caractéristique des matériaux et technique expérimentale

➤ Conduite de l'essai :

Ce temps écoulé, on retire le moule et on fait passer l'éprouvette à la presse permet la lecture de la force qui s'exerce sur les facettes latérales du cylindre de béton.

Éprouvette sera placée entre les deux mâchoires de la machine et on élèvera une seule lecture.

Celle de la force correspondant à la rupture de l'échantillon. Soit F cette lecture.

Calculs :

La résistance sera :

$$\delta = \frac{F}{S} \text{ : section de l'éprouvette : } 100 \text{ cm}^2.$$

F : force au moment de la rupture.

Et essai se fait également sur les roches que l'on doit tailler au préalable sous forme de cubes d'arête égale à 7 cm.

IV-4-3-Porosité : ASTM - C642

➤ Introduction :

Il existe plusieurs méthodes d'évaluation de la porosité du béton .parmi cette méthode, la norme ASTM désignationC642.

Le but de cette méthode est de déterminer pourcentage de volume des pores contenus dans l'éprouvette, afin de connaître l'influence de la structure interne du béton sur l'interconnexion des pores.

➤ Mode d'essai :

- Séchage la étuve a 1050C de l'échantillon, pendant au moins 24 heures, jusqu' a obtention d'une masse constante, afin de faire évaporé toute la quantité d'eau évaporable. Cette masse est note A.
- Émersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24
- Chauffage jusqu' a évolutionpendant5heures, puis pesage de l'échantillonnage l'air (soit C ce point) puis pesage a l'eau (pesée hydrostatique, soit D ce point).

➤ Calcul de la porosité :

Calculer par la formule :

$$V_p = \frac{W_s - W_b}{W_s - W_d} \cdot 100$$

Vp : volume des vides.

Wb : poids de l'échantillon après étuvage (g).

Ws : poids a l'air immersion et ébullition (g).

Wd : poids à l'eau immersion et ébullition (g).



Figure IV-8 poids à l'eau immersion et ébullition (g).

Conclusion :

Dans le quatrième chapitre on a résumé les caractéristique des matériaux utilisé (sable, gravier, ciment, eau de gâchage, l'adjuvant, laitier, pouzzolane) et les essais réalisé dans laboratoire (résistance mécanique, porosité, perte de masse et la masse volumique).

Chapitre 05 : les résultats et discussions

Ce chapitre est consacré à la présentation des résultats obtenus du programme d'essais et présente une discussion de ces résultats.

Notation :

B350 : béton ordinaire ; dosage de ciment $C=350\text{Kg}/\text{m}^3$

B350+15%P : béton ordinaire ; dosage de ciment $C=350\text{Kg}/\text{m}^3 + 15\%$ pouzzolane

B350+15%L : béton ordinaire ; dosage de ciment $C=350\text{Kg}/\text{m}^3 + 15\%$ Laitier

B450 : béton ordinaire ; dosage de ciment $C=450\text{Kg}/\text{m}^3$

B450+15%P : béton ordinaire ; dosage de ciment $C=450\text{Kg}/\text{m}^3 + 15\%$ pouzzolane

B450+15%L : béton ordinaire ; dosage de ciment $C=450\text{Kg}/\text{m}^3 + 15\%$ Laitier

V-1 La masse volumique

V-1-1 La masse volumique des bétons étudiés (B 350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'eau et à l'air :

V-1-1-1 Conservation à l'eau :

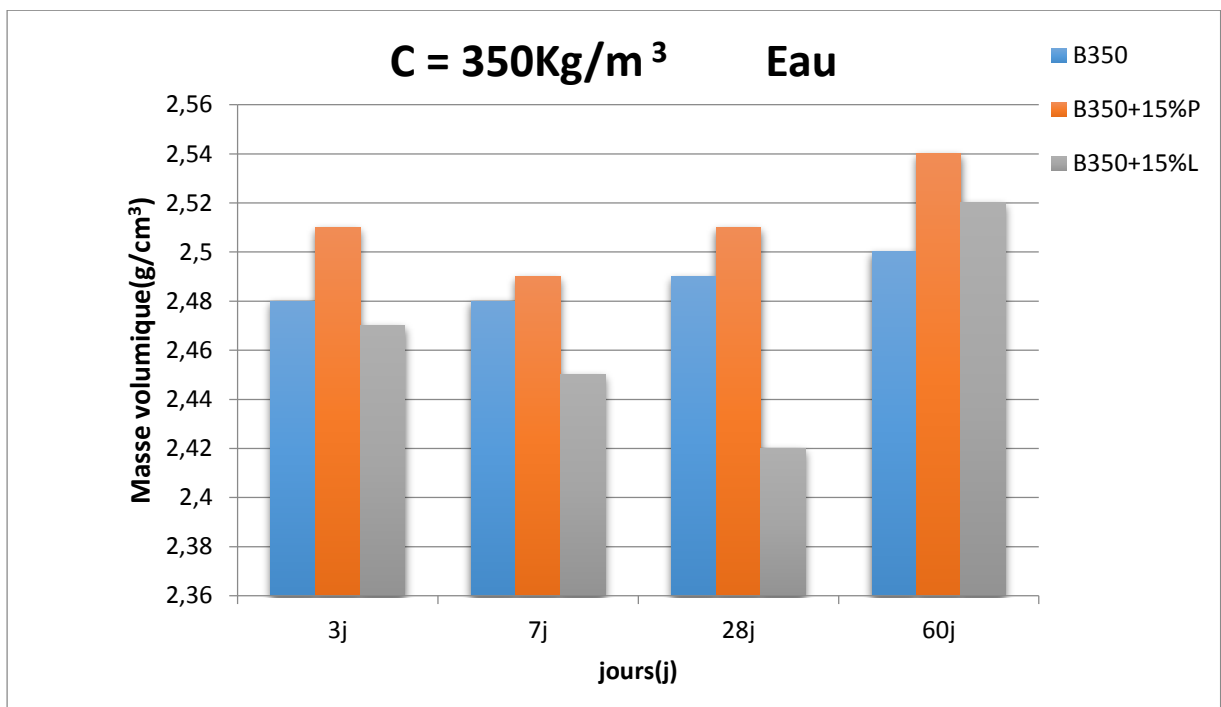


Figure V-1 : La masse volumique des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'eau

V-1-1-2 Conservation à l'air :

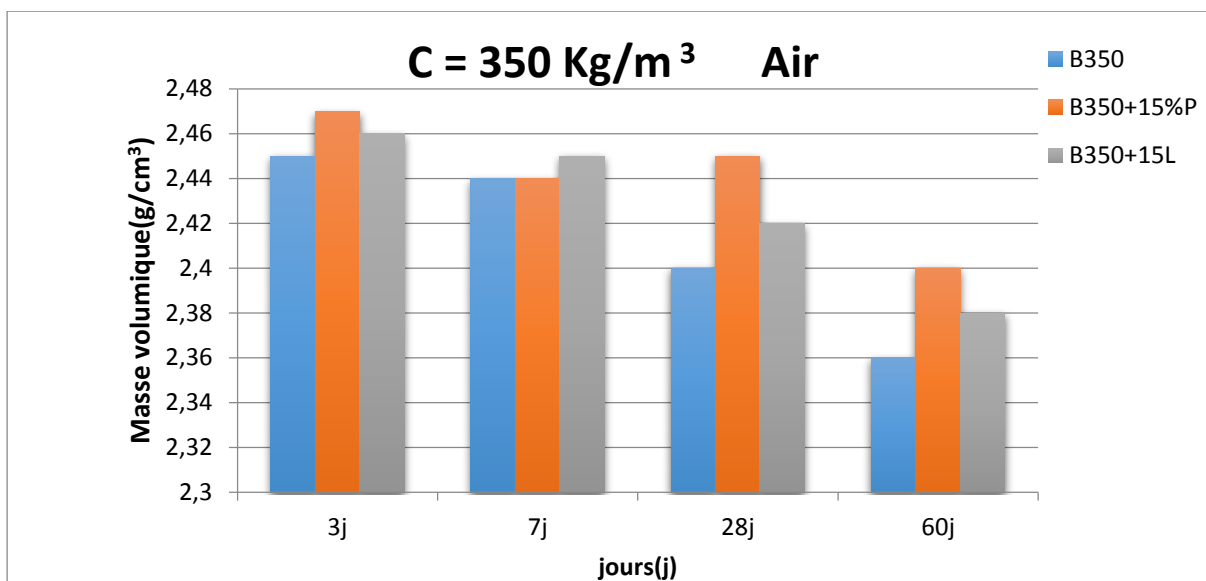


Figure V-2 : La masse volumique des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'air

V-1-1-3 Conservation à l'air et l'eau :

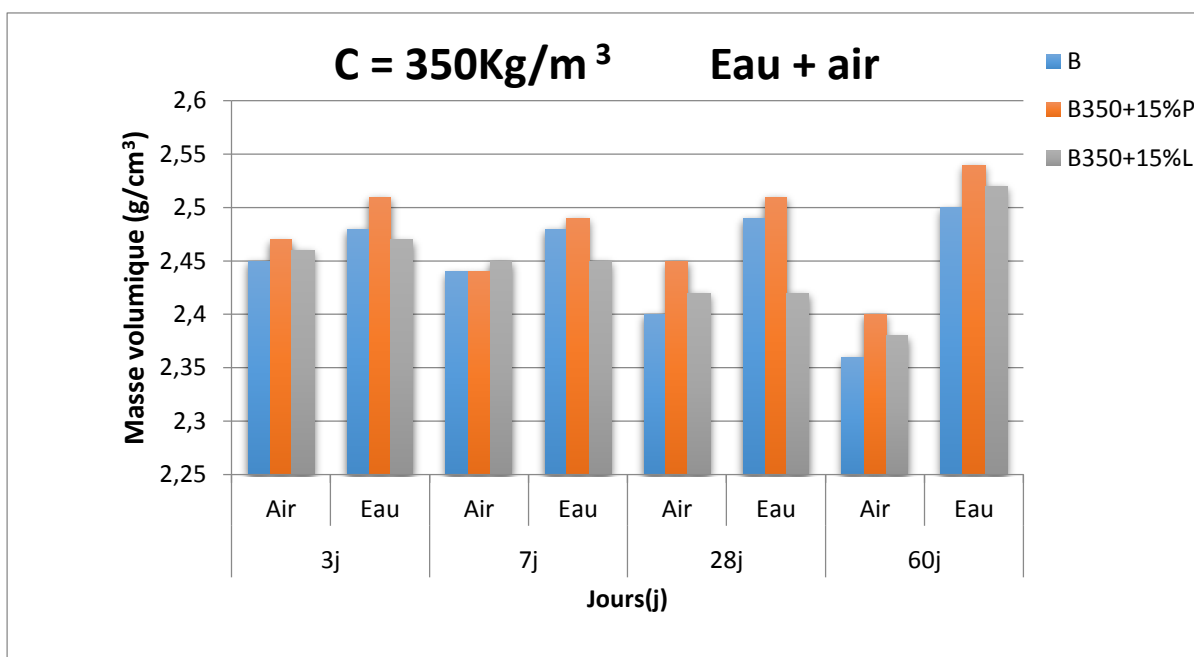


Figure V-3 : La masse volumique des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'eau et à l'air

➤ **Commentaire :**

On remarque d'après les figures (1 à 3) que la masse volumique des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'eau est plus grande que les bétons conservés à l'air et la masse volumique des bétons avec ajout (laitier, pouzzolane) est plus grande que les bétons sans ajout.

V-1-2 La masse volumique des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et à l'air :

V-1-2-1 Conservation à l'eau :

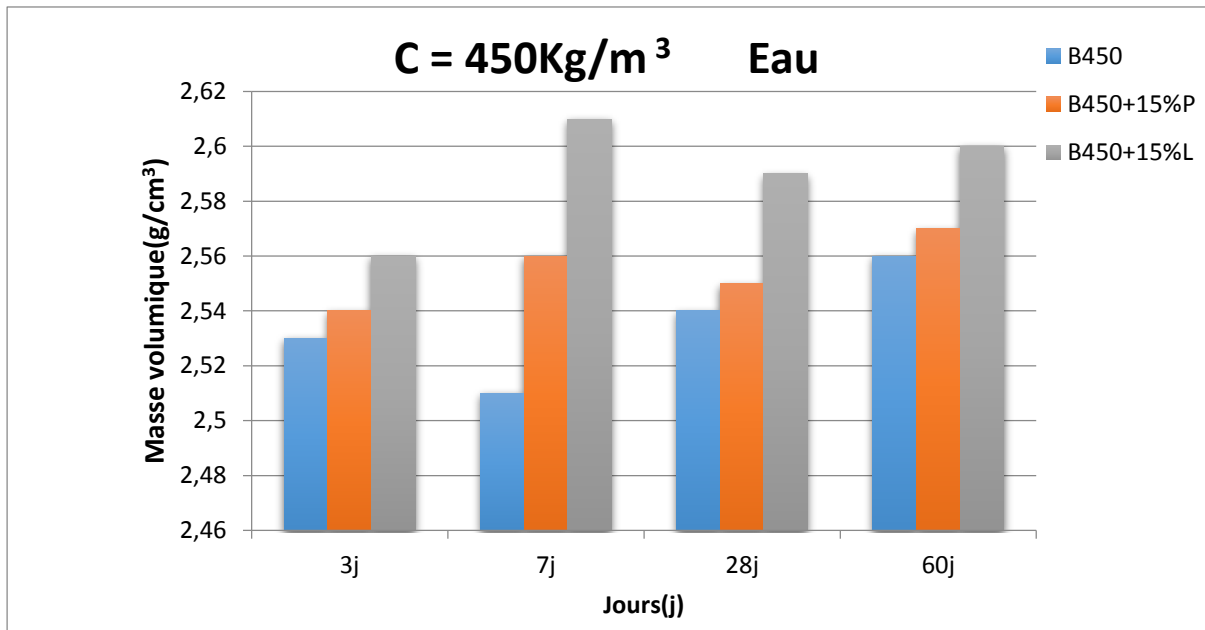


Figure V-4 : La masse volumique des bétons étudiés (B+450, B+45015%L, B+45015%P) conservés à l'eau

V-1-2-2 Conservation à l'air :

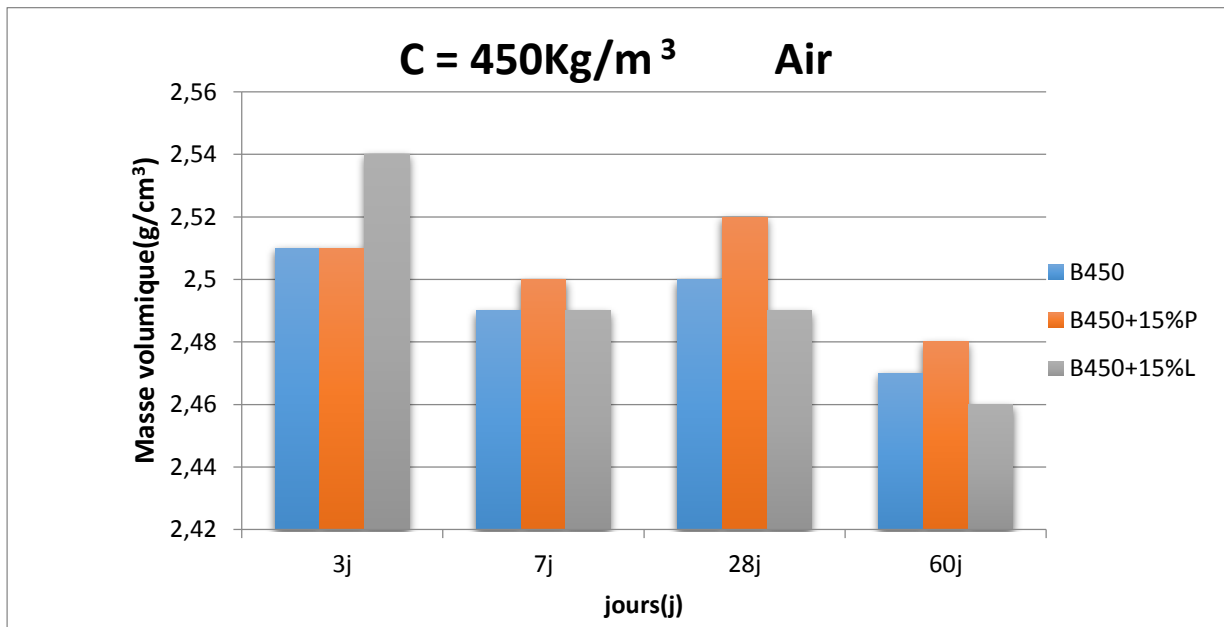


Figure V-5 : La masse volumique des bétons étudiés (B+450, B+45015%L, B+45015%P) conservés à l'air

V-1-2-3 Conservation à l’Air et l’Eau :

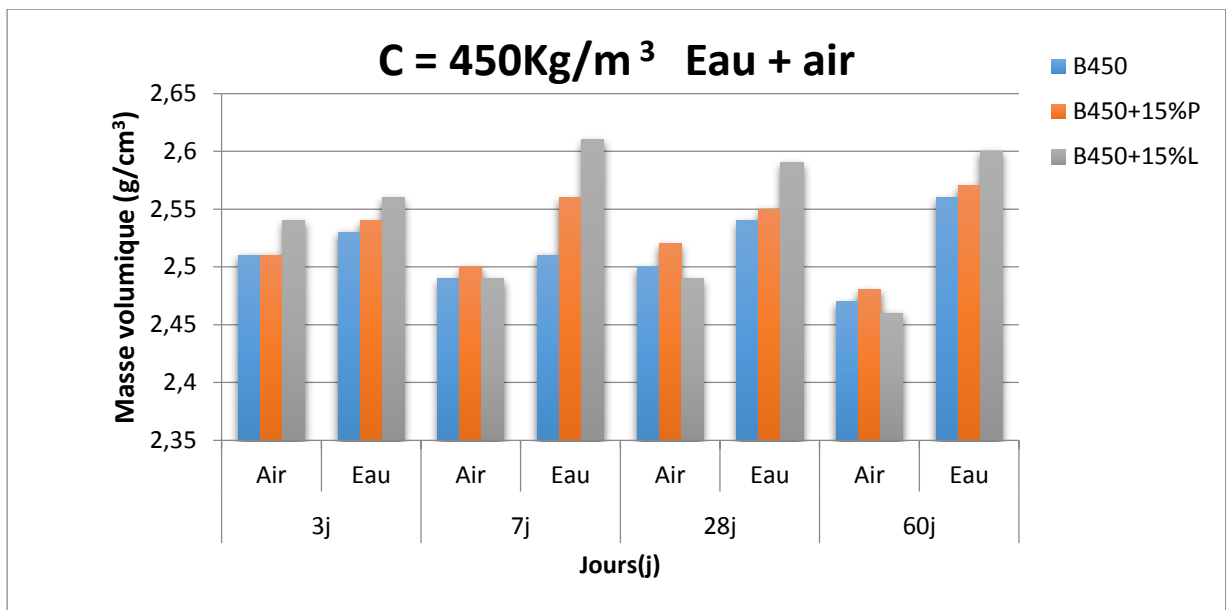


Figure V-6 : La masse volumique des bétons étudiés (B+450, B+45015%L, B+45015%P) conservés à l’eau et à l’air

➤ **Commentaire :**

On remarque d’après les figure (4 à 6) que la masse volumique des bétons étude

(B450, B450+15%L, B450+15%P) conserve a l’eau plus grand que les bétons conserve a l’air la masse volumique des bétons avec ajout (laitier, pouzzolane) plus grand que les bétons sans ajout

V-1-3 La masse volumique des bétons étudiés

(B350, B350+15%P, B35+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l’eau et à l’air :

V-1-3-1 Conservation à l’Eau :

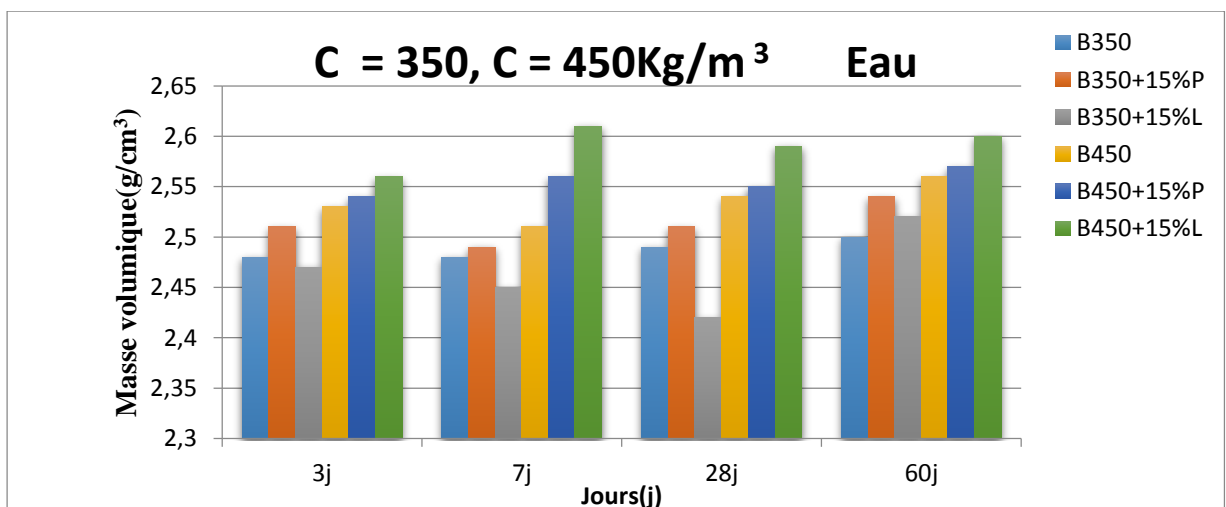


Figure V-7 : La masse volumique des bétons étudiés

(B350, B350+15%P, B35+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l’eau

V-1-3-2 Conservation à l'air :

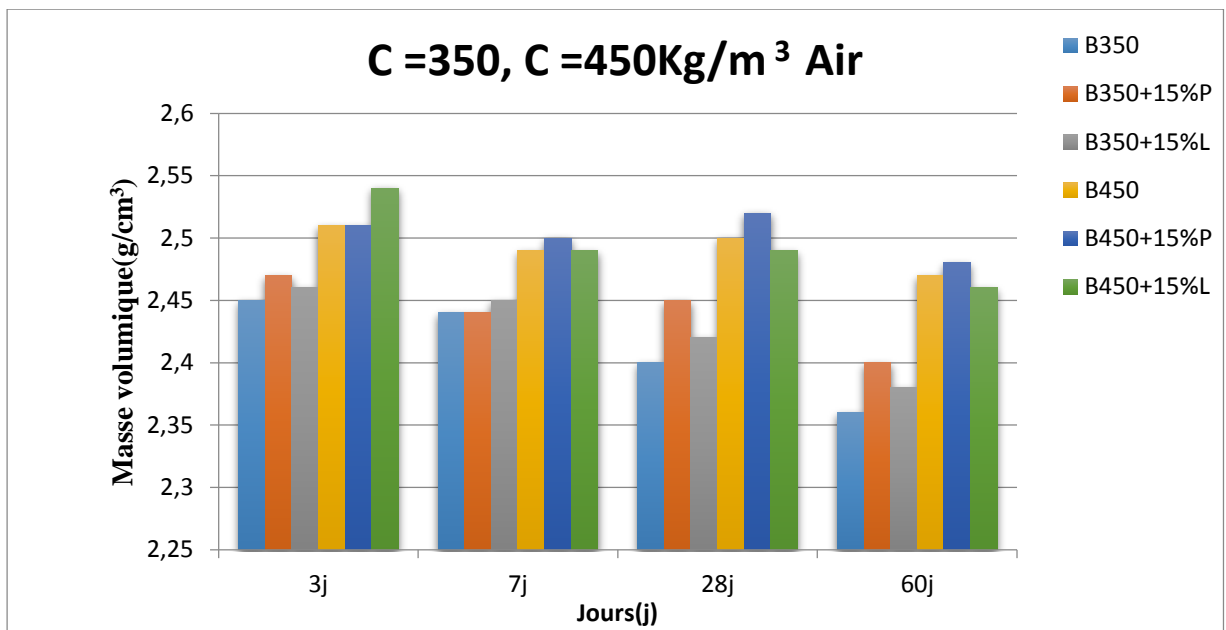


Figure V-8 : La masse volumique des bétons étudiés (B350, B350+15%P, B35+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'air

V-1-3-3 Conservation à l'air et l'eau :

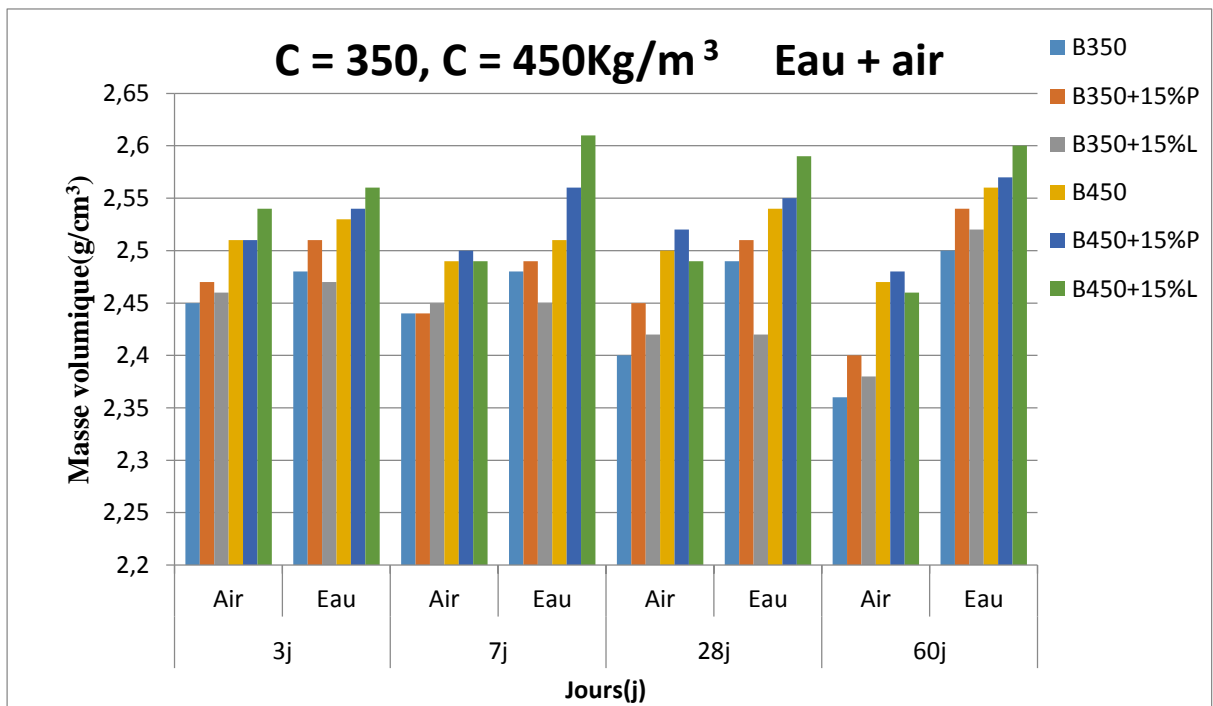


Figure V-9 : La masse volumique des bétons étudiés (B350, B350+15%P, B35+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et à l'air

➤ **Commentaire :**

On remarque d'après les figures (1 à 3) que la masse volumique des bétons étudiés

(B350, B350+15%L, B350+15%P , B450, B450+15%L, B450+15%P) conserve a l'eau plus grand que les bétons conserve a l'air .

La masse volumique des bétons avec ajout (laitier, pouzzolane) plus grand que les bétons sans ajout .

Et la masse volumique des bétons (B450, B450+15%L, B450+15%P) plus grand que la masse volumique des bétons(B350, B350+15%L, B350+15%P) .

V-2 Pert de masse :

V-2-1 Pert de masse de 28jours :

V-2-1-1 La perte de masse des bétons étudiés (B350, B350+B15%L, B350+15%P) conservés à l'eau et à l'air :

V-2-1-1-1 Conservation à l'eau :

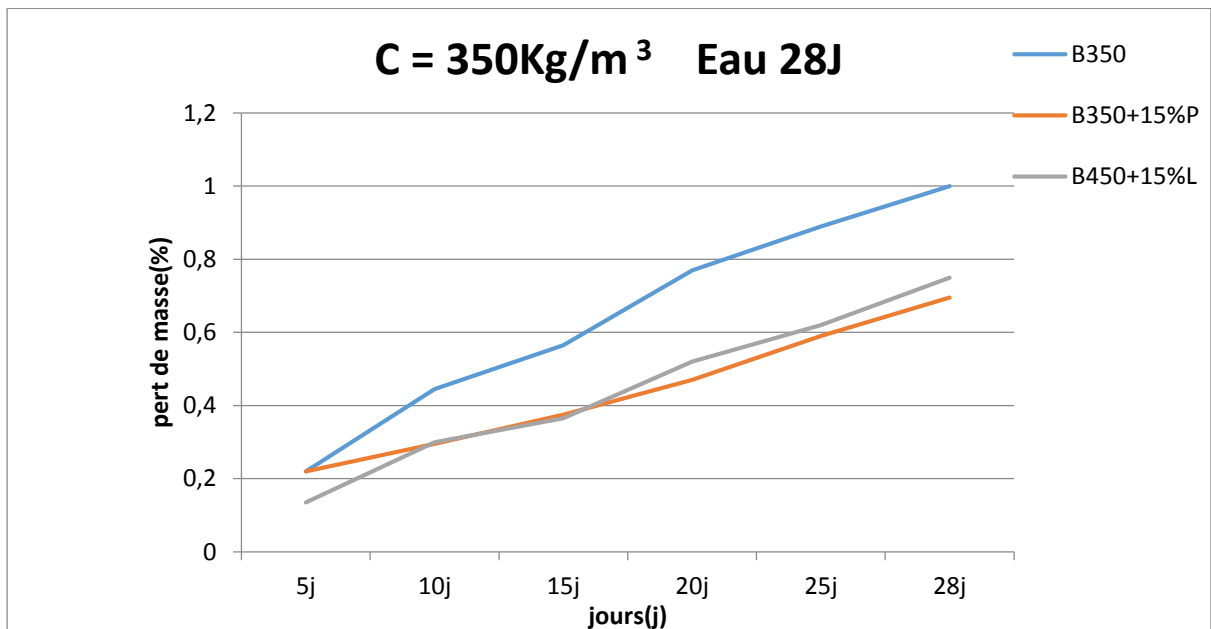


Figure V-10 : La perte masse des bétons étudiés (B350, B350+B15%L, B350+15%P) conservés à l'eau de 28 jours

V-2-1-1-2 Conservation à l'air

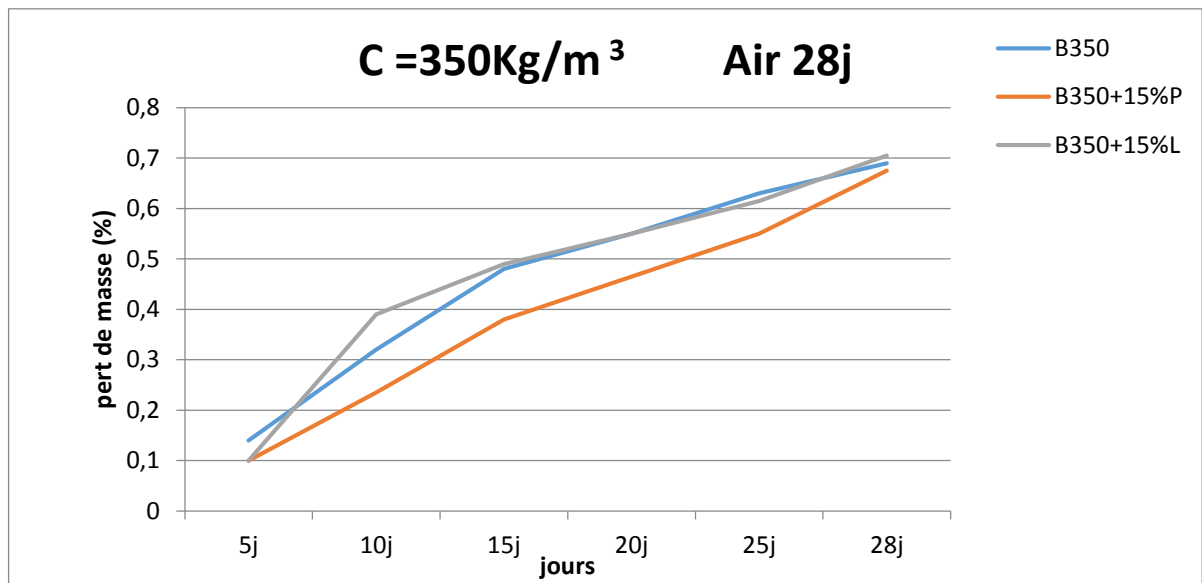


Figure V-11 : La perte de masse des bétons étudiés (B350, B350+B15%L, B350+15%P) conservés à l'air de 28 jours

V-2-1-1-3 Conservation à l'air et l'eau

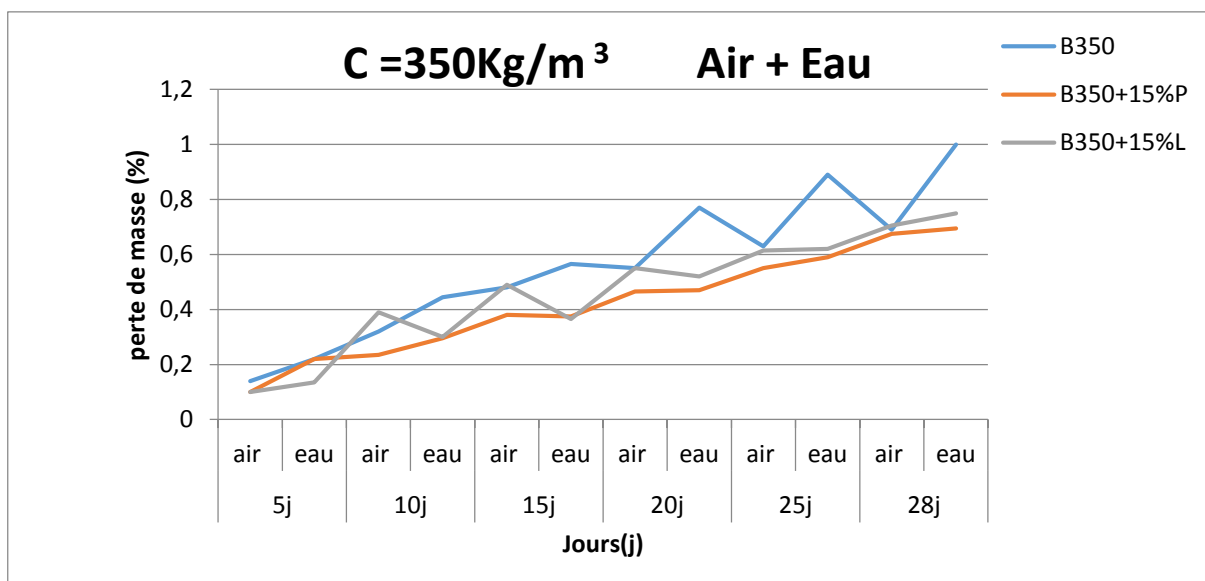


Figure V-12 : La perte de masse des bétons étudiés (B350, B350+B15%L, B350+15%P) conservés à l'eau et à l'air de 28 jours

Commentaire :

D'après les figures (10 à 12) on remarque que le pourcentage de perte de masse est augmenté en fonction de temps dans tous les types des bétons étudiés (B350, B350+B15%L, B350+15%P)

La masse des bétons conservent à l'eau augmentée en fonction de temps, et la masse des bétons conservent à l'air démunies en fonction de temps.

V-2-1-2 La perte de masse des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et à l'air :

V-2-1-2-1 Conservation a l'eau :

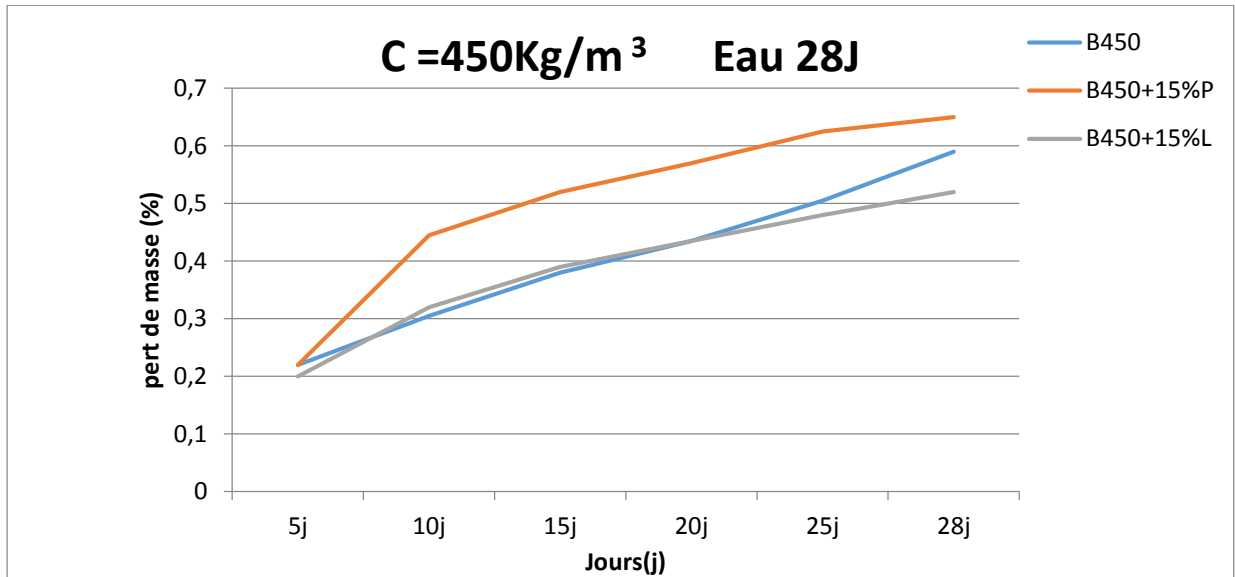


Figure V-13 : La perte de masse des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau de 28 jours

V-2-1-2-2 Conservation a l'air :

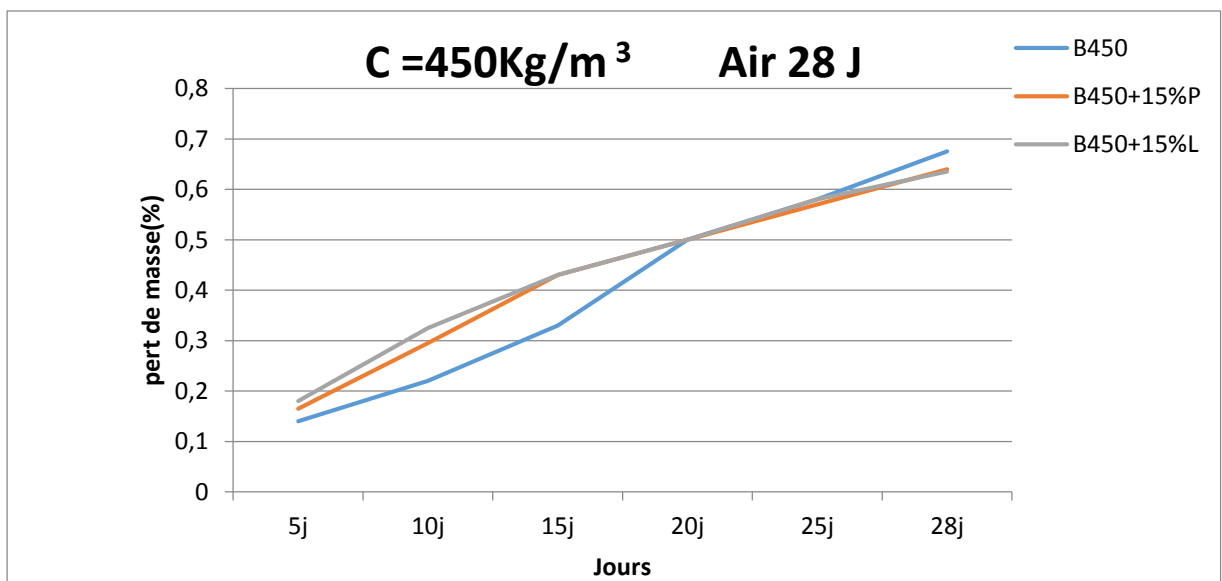


Figure V -14 : La perte de masse des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'air de 28 jours

V-2-1-2-3 Conservation a l'air et l'eau :

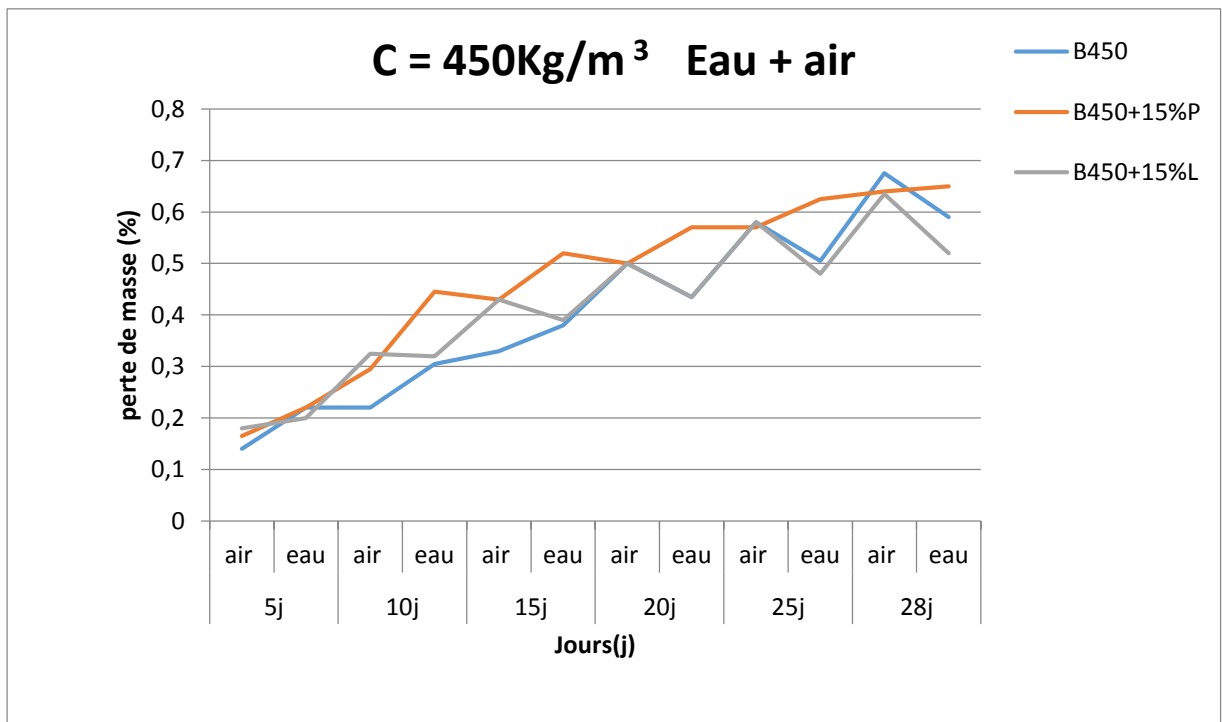


Figure V-15 : La perte de masse des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et l'air de 28 jours

➤ **Commentaire :**

D'après les figures (13 à 15) on remarque que le pourcentage de perte de masse est augmenté en fonction de temps dans tous les types des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P).

La masse des bétons conservés à l'eau augmentée en fonction de temps, et la masse des bétons conservés à l'air diminue en fonction de temps.

V-2-1-3 La perte de masse des bétons étudiés

(B350, B350+15%P, B350+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et à l'air :

V-2-1-3-1 Conservation à l'Eau :

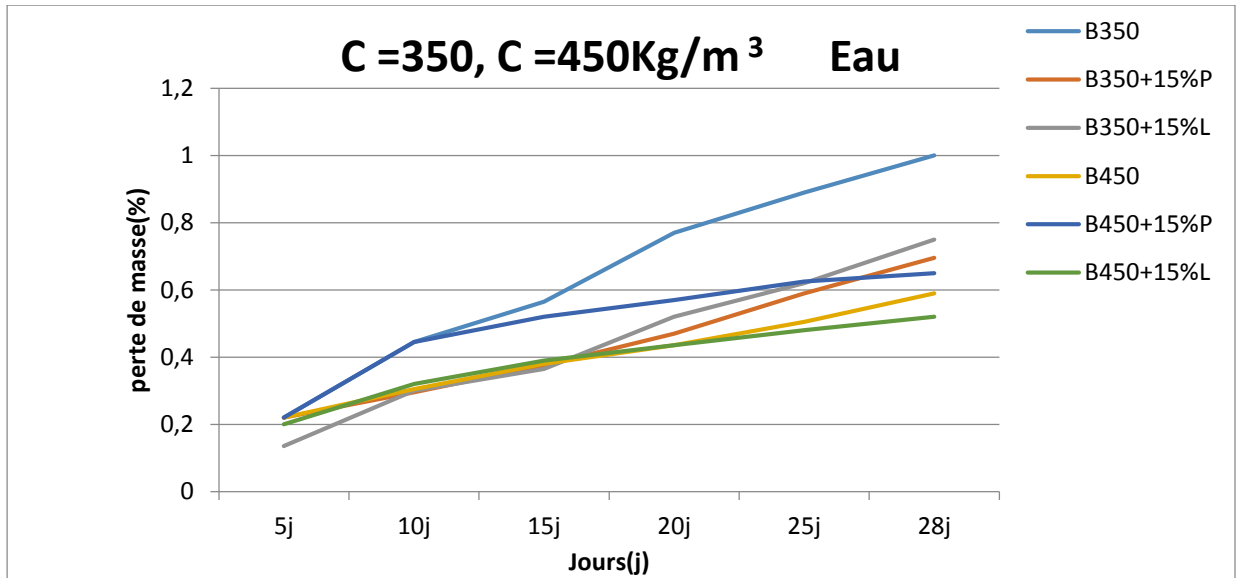


Figure V-16 : La perte de masse des bétons étudiés (B350, B350+15%P, B350+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau de 28 jours

V-2-1-3-2 Conservation à l'air :

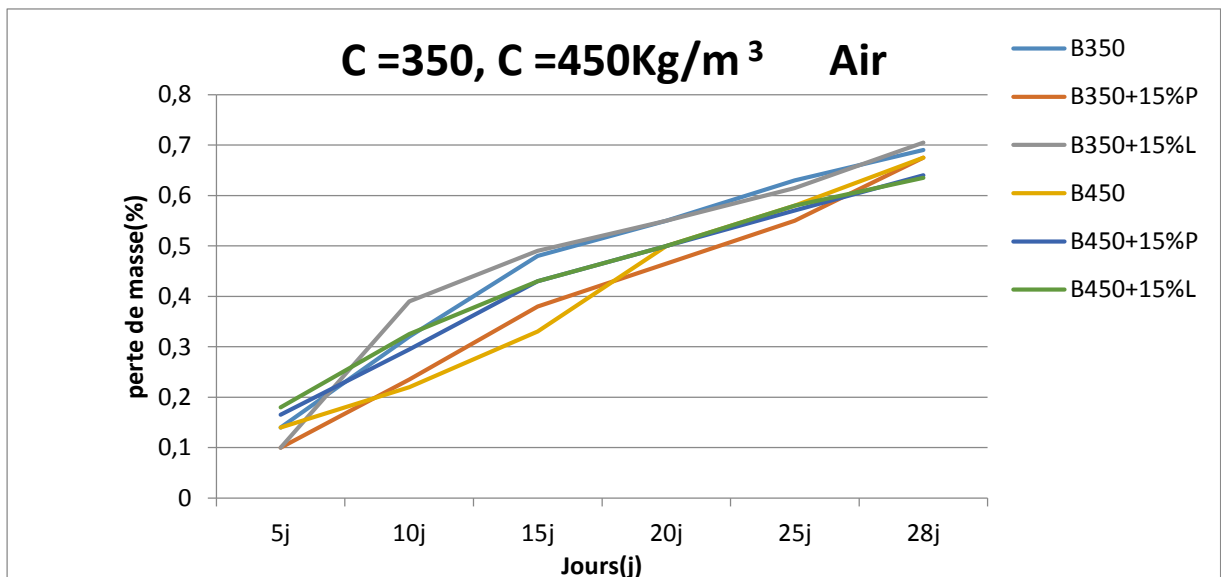


Figure V-17 : La perte de masse des bétons étudiés (B350, B350+15%P, B350+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'air de 28 jours

V-2-1-3-3 Conservation à l'air et l'eau :

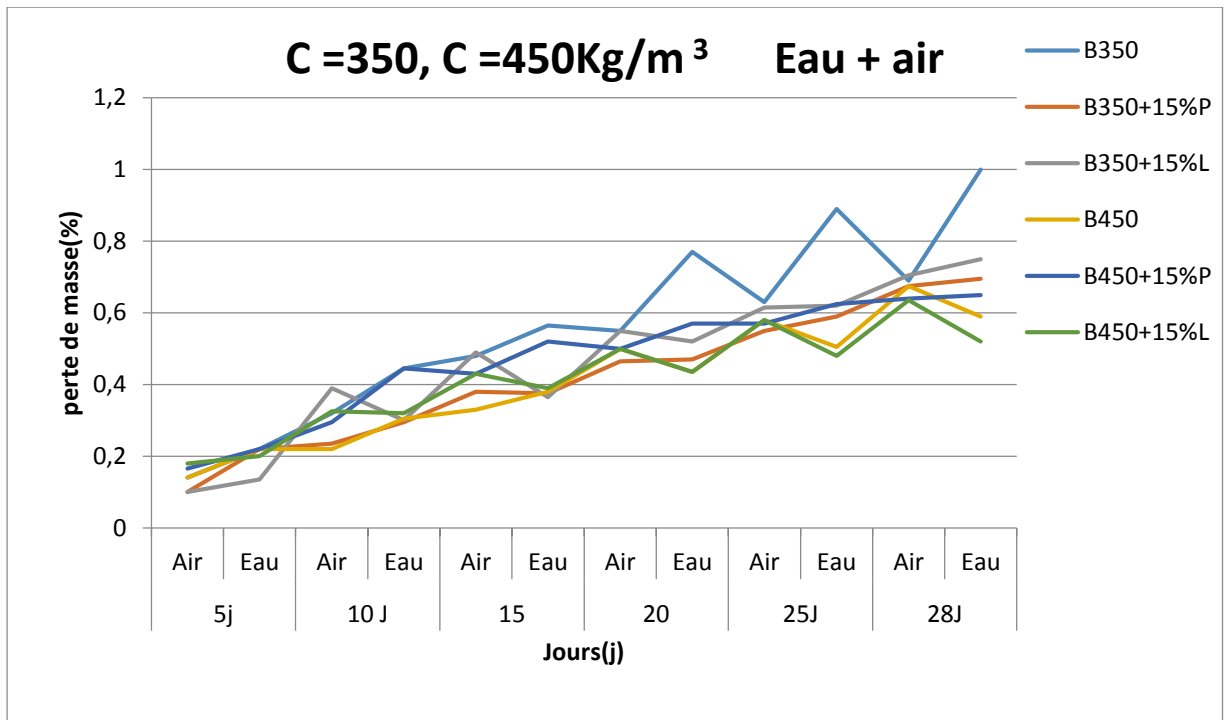


Figure V-18 : La perte de masse des bétons étudiés

(B350, B350+15%P, B350+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et l'air de 28 jours

➤ **Commentaire :**

D'après les figures (15 à 18) on remarque que le pourcentage de perte de masse est augmenté en fonction de temps dans tous les types des bétons étudiés (B350, B350+15%P, B350+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P).

La masse des bétons conservés à l'eau augmentée en fonction de temps, et la masse des bétons conservés à l'air diminuée en fonction de temps.

V-2-2 Perte de masse de 60j

V-2-2-1 La perte de masse des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'eau et à l'air :

V-2-2-1-1 Conservation à l'eau :

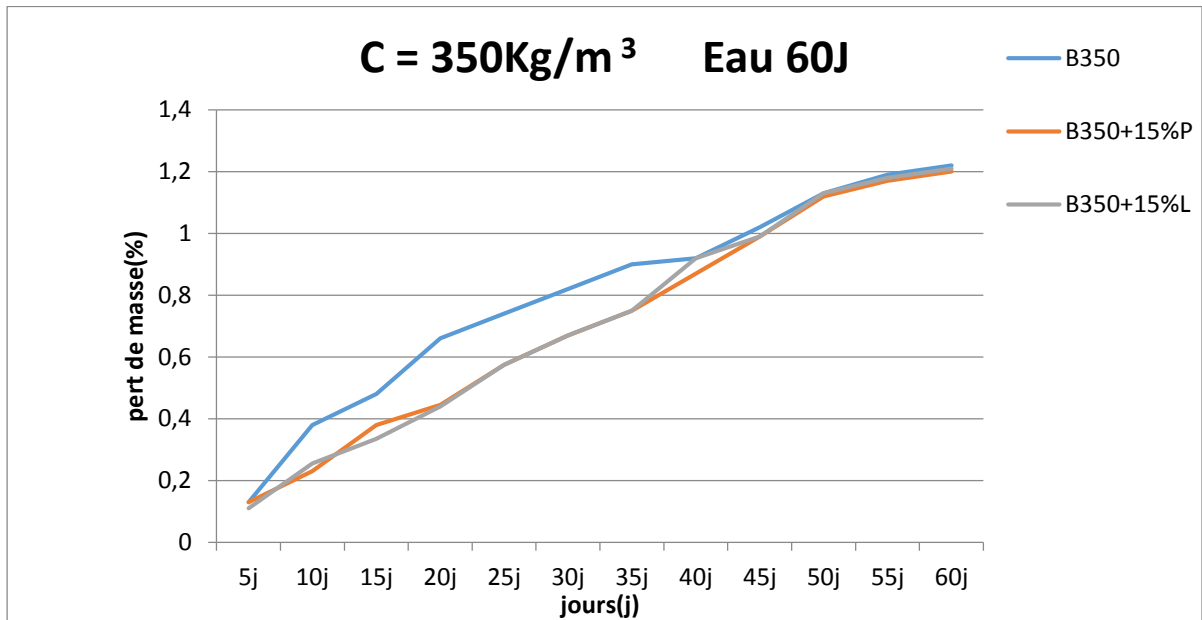


Figure V-19 : La perte de masse des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'eau de 60 jours

V-2-2-1-2 Conservation à l'air :

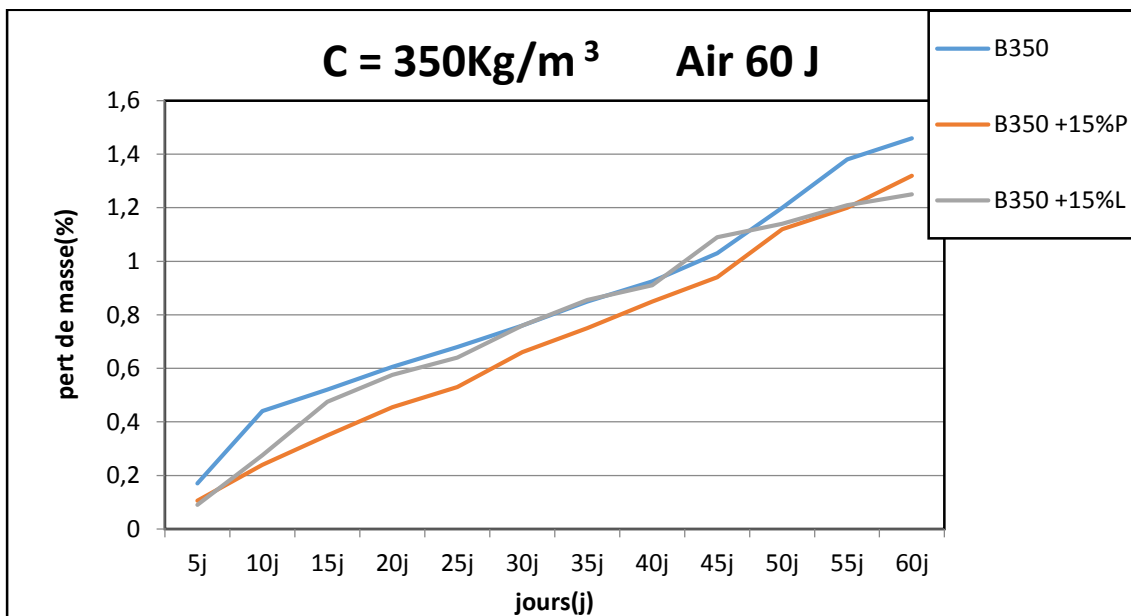


Figure V-20 : La perte de masse des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'air de 60 jours

V-2-2-1-3 Conservation a l'air et l'eau :

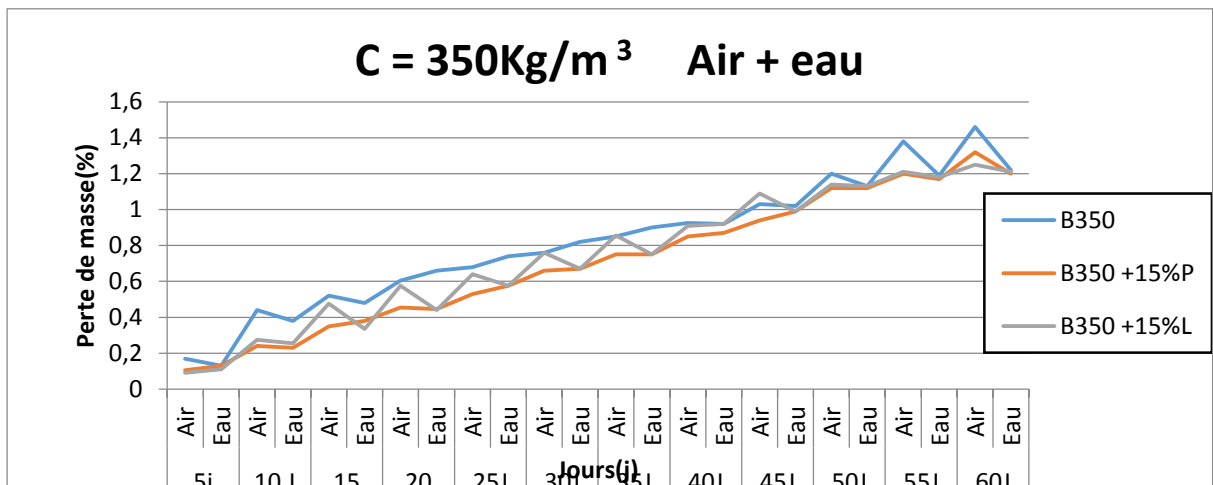


Figure V-21 : La perte de masse des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'eau et à l'air de 60 jours

➤ **Commentaire :**

D'après les figures (19 à 21) on remarque que le pourcentage de perte de masse est augmenté en fonction de temps dans tous les types des bétons étude (B350, B350+15%P, B350+15%L).

La masse des bétons conservés dans l'eau son augmentation évolue faiblement après le 30^{ème} jour, et celle conservées à l'air démunies aussi faiblement après le 30^{ème} jour.

V-2-2-2 La perte de masse des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et à l'air :

V-2-2-2-1 Conservation à l'eau :

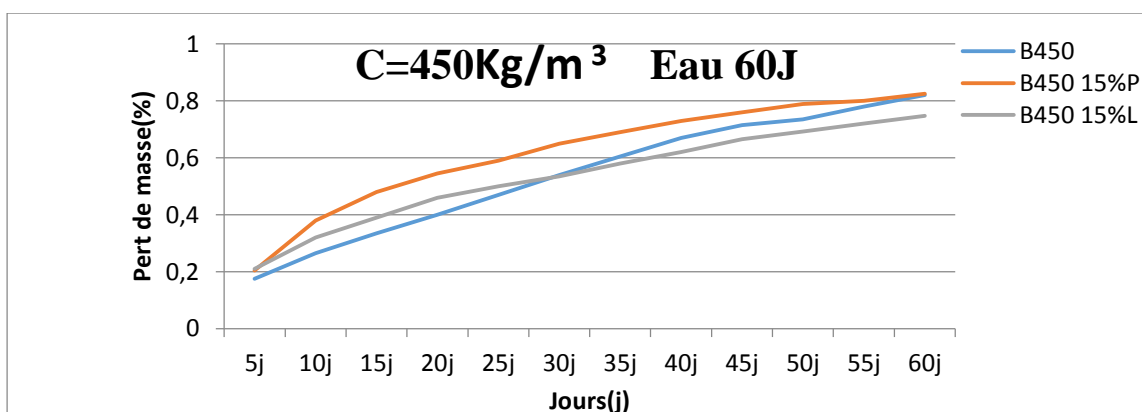


Figure V-22 : La perte de masse des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau de 60 jours

V-2-2-2-2 Conservation à l'air :

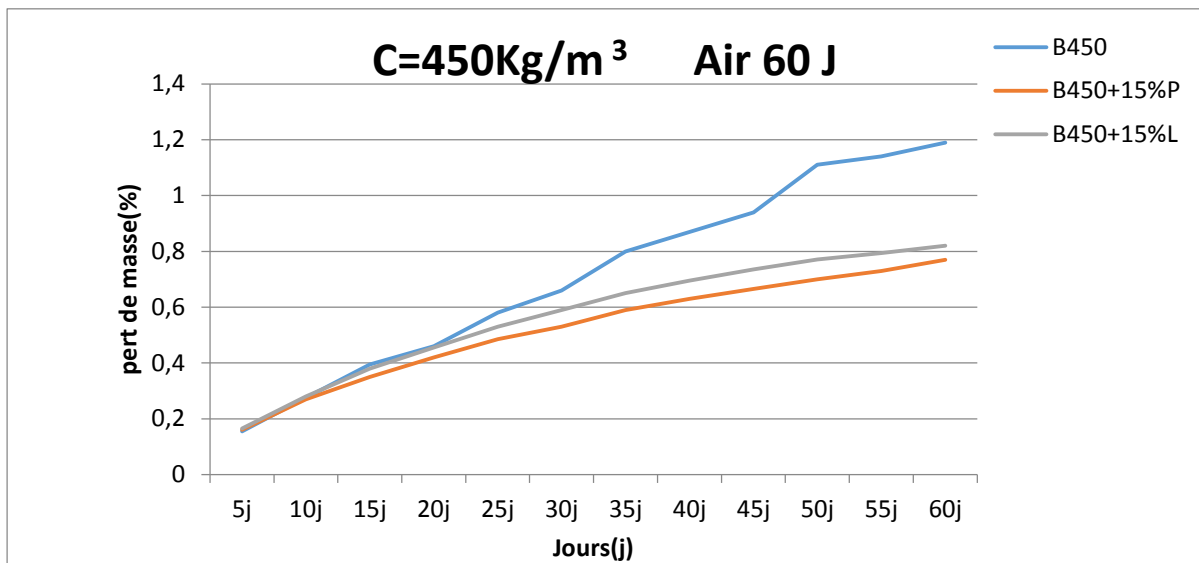


Figure V-23 : La perte de masse des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'air de 60 jours

V-2-2-2-3 Conservation a l'air et l'eau :

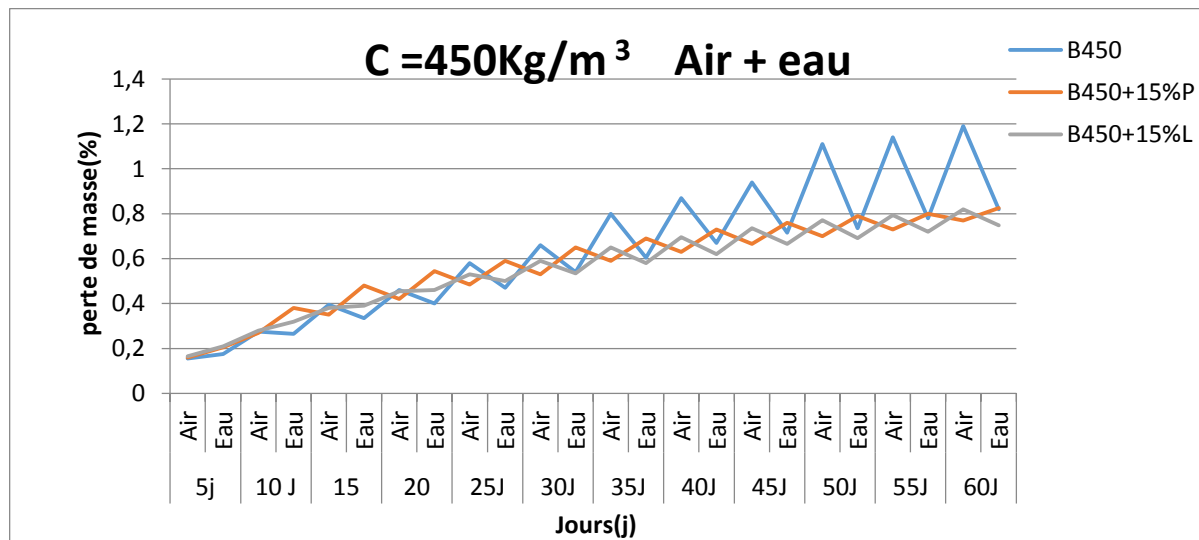


Figure V-24 : La perte de masse des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et à l'air de 60 jours

➤ **Commentaire :**

D'après les figures (22 à 24) on remarque que le pourcentage de perte de masse est augmenté en fonction de temps dans tous les types des bétons étude (B450, B450+15%P, B450+15%L).

La masse des bétons conservés dans l'eau son augmentation évolue faiblement après le 30^{ème} jour, et celle conservées à l'air démunies aussi faiblement après le 30^{ème} jour.

V-2-2-3 La perte de masse des bétons étudiés

(B350, B350+15%P, B350+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et à l'air :

V-2-2-3-1 Conservation à l'Eau :

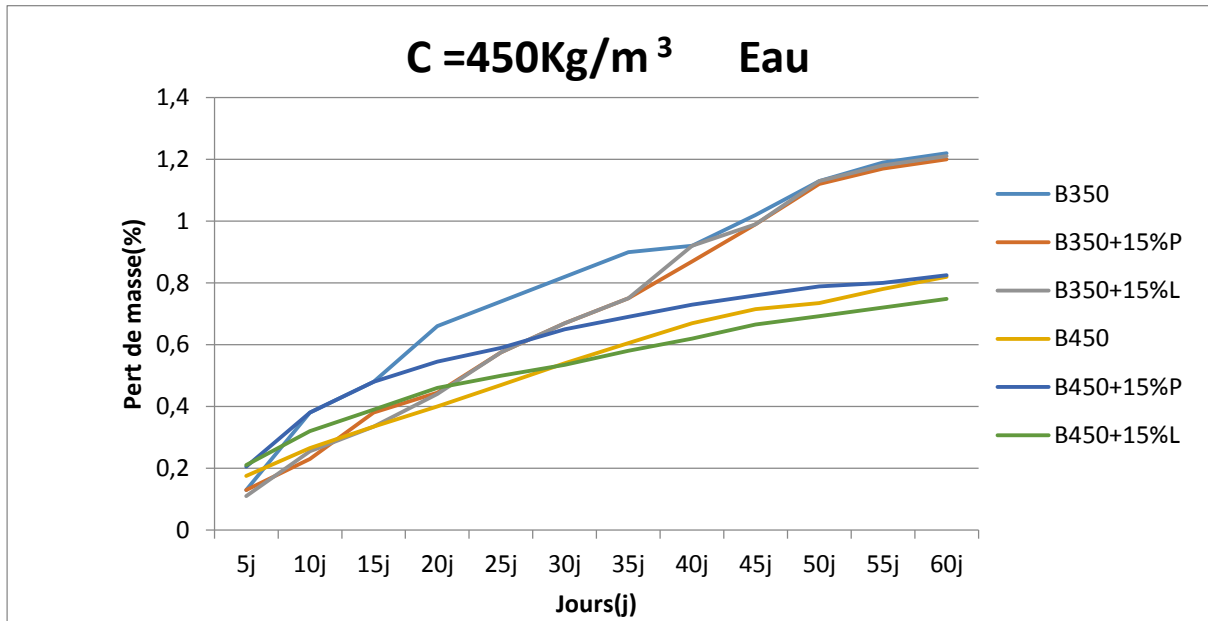


Figure V-25 : La perte de masse des bétons étudiés (B350, B350+15%P, B350+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau de 60 jours

V-2-2-3-2 Conservation à l'air :

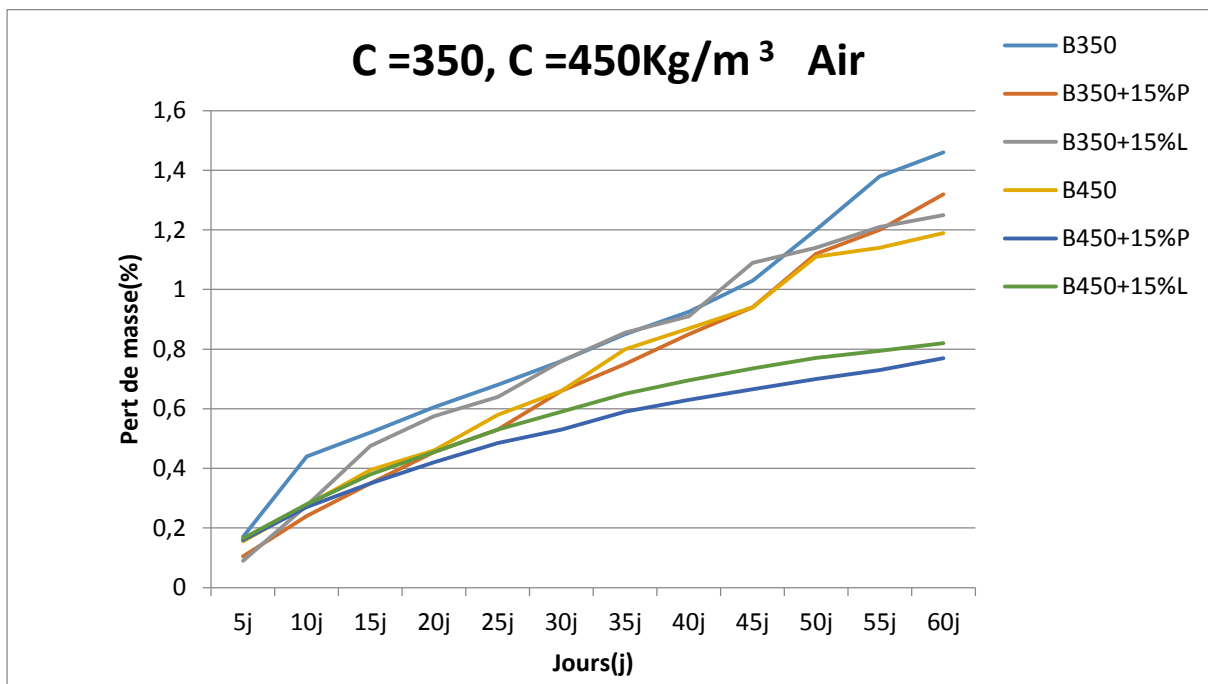


Figure V-26 : La perte de masse des bétons étudiés (B350, B350+15%P, B350+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'air de 60 jours

V-2-2-3-3 Conservation à l'air et à l'eau :

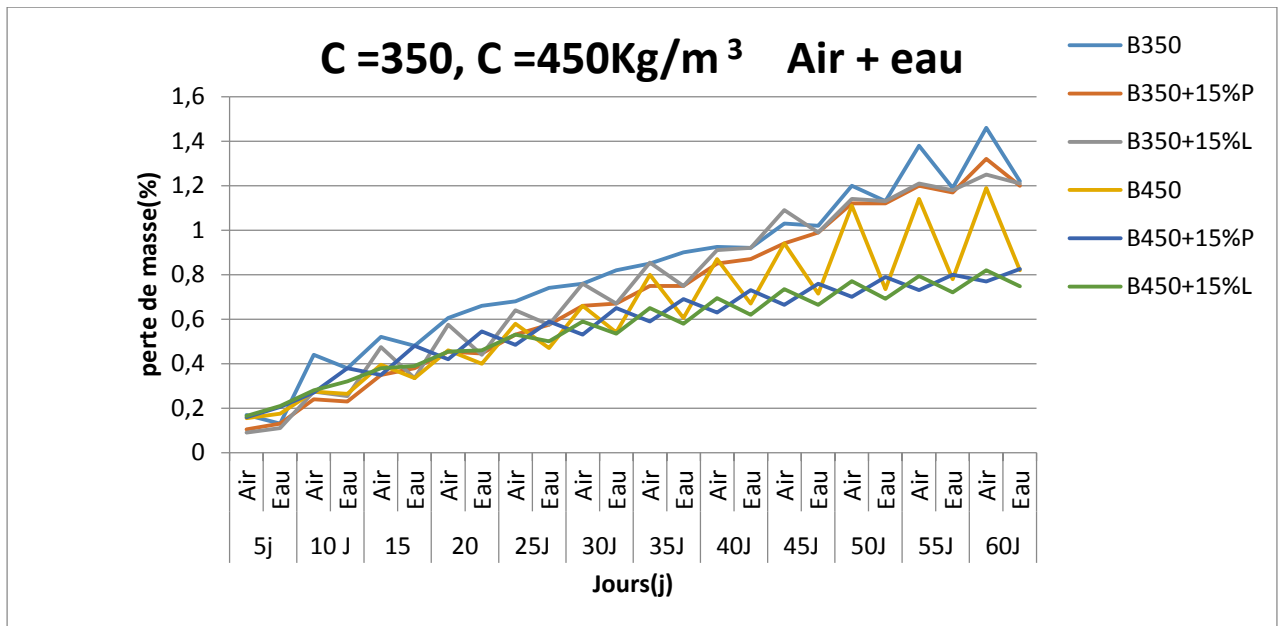


Figure V-27 : La perte de masse des bétons étudiés (B350, B350+15%P, B350+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et à l'air de 60 jours

➤ **Commentaire :**

D'après les figures (25 à 27) on remarque que le pourcentage de perte de masse est augmenté en fonction de temps dans tous les types des bétons étude (B350, B350+15%P, B350+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P).

La masse des bétons conservés dans l'eau son augmentation évolue faiblement après le 30^{eme} jour, et celle conservées à l'air démunies aussi faiblement après le 30^{eme} jour.

V- 3- Les résistances à la compression :

V-3-1 Les résistances à la compression des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'eau et à l'air :

V-3-1-1 Conservation à l'eau :

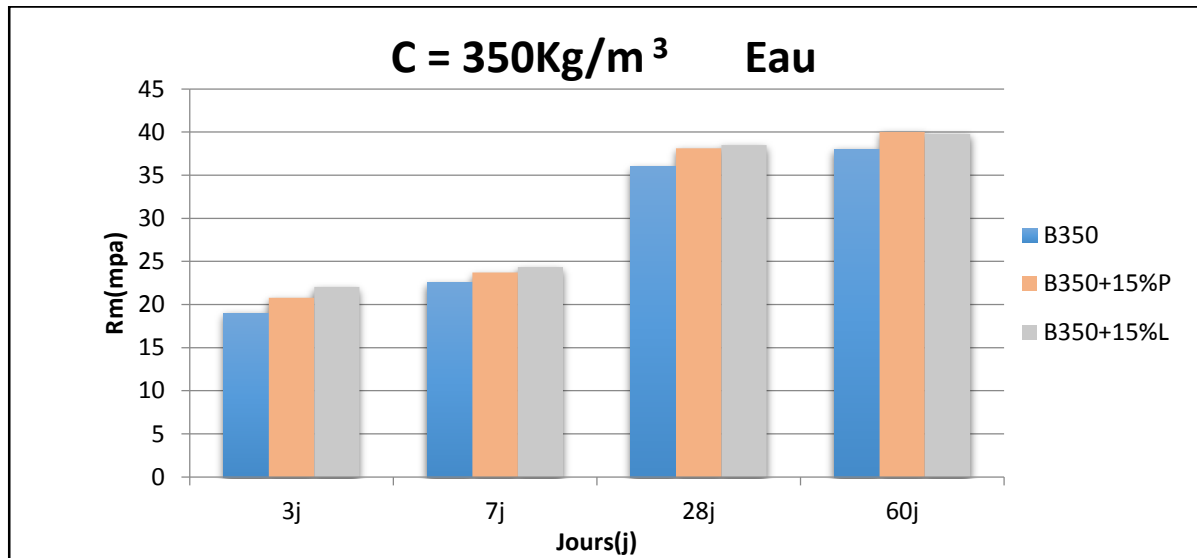


Figure V-28 : la résistance à la compression conserver à l'eau de (B350, B350+15%L, B350+15%P)

V-3-1-2 Conservation à l'air :

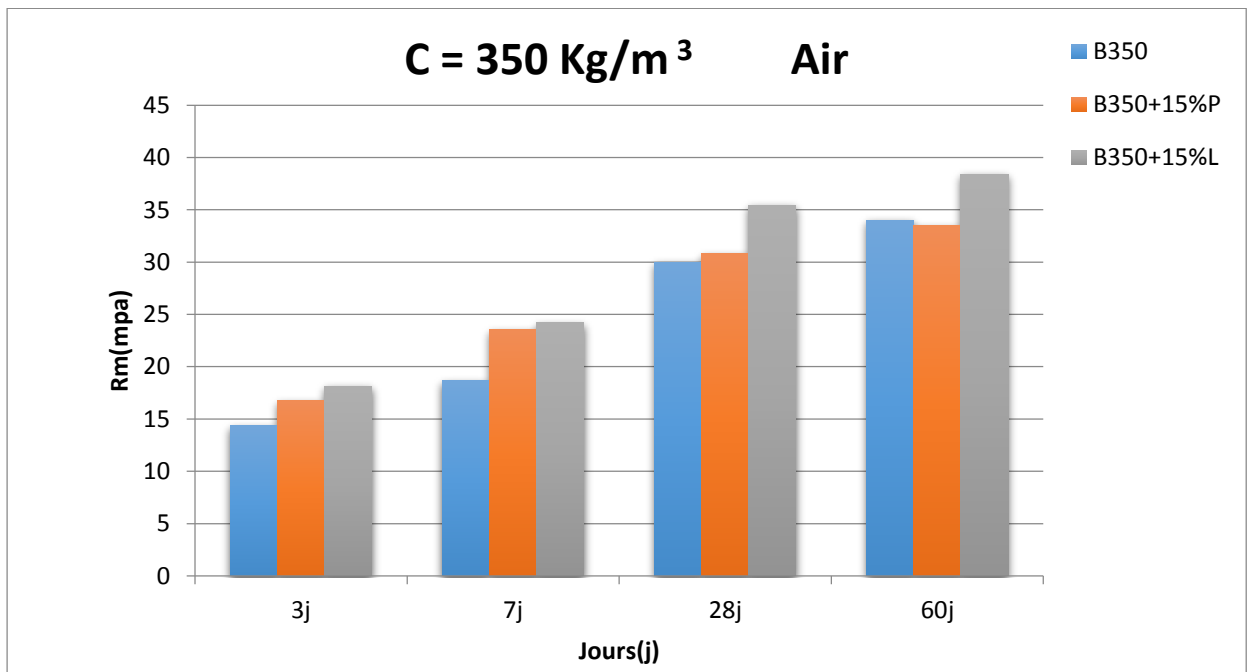


Figure V-29 : la résistance à la compression conserver à l'air de (B350, B350+15%L, B350+15%P)

V-3-1-3 Conservation à l'air et l'eau :

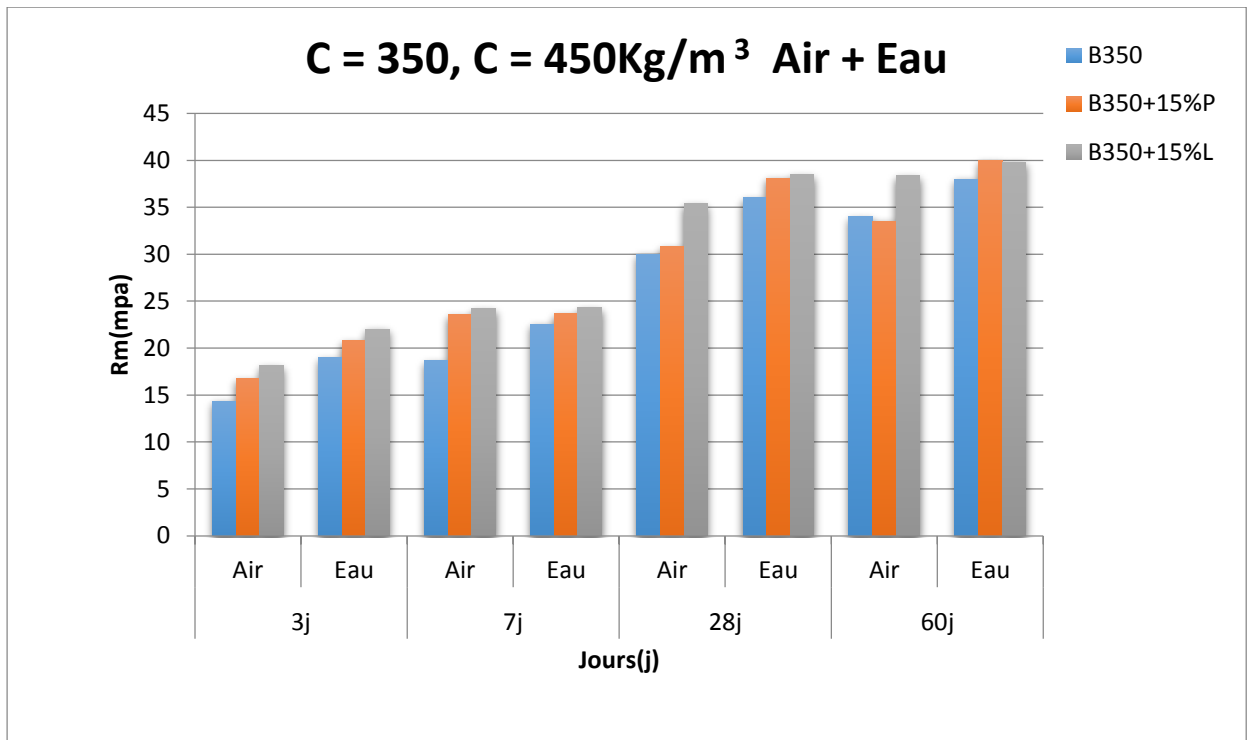


Figure V-30 : la résistance à la compression conserver à l'air et l'eau de (B350, B350+15%L, B350+15%P)

V-3-1-4 Régime de cure :

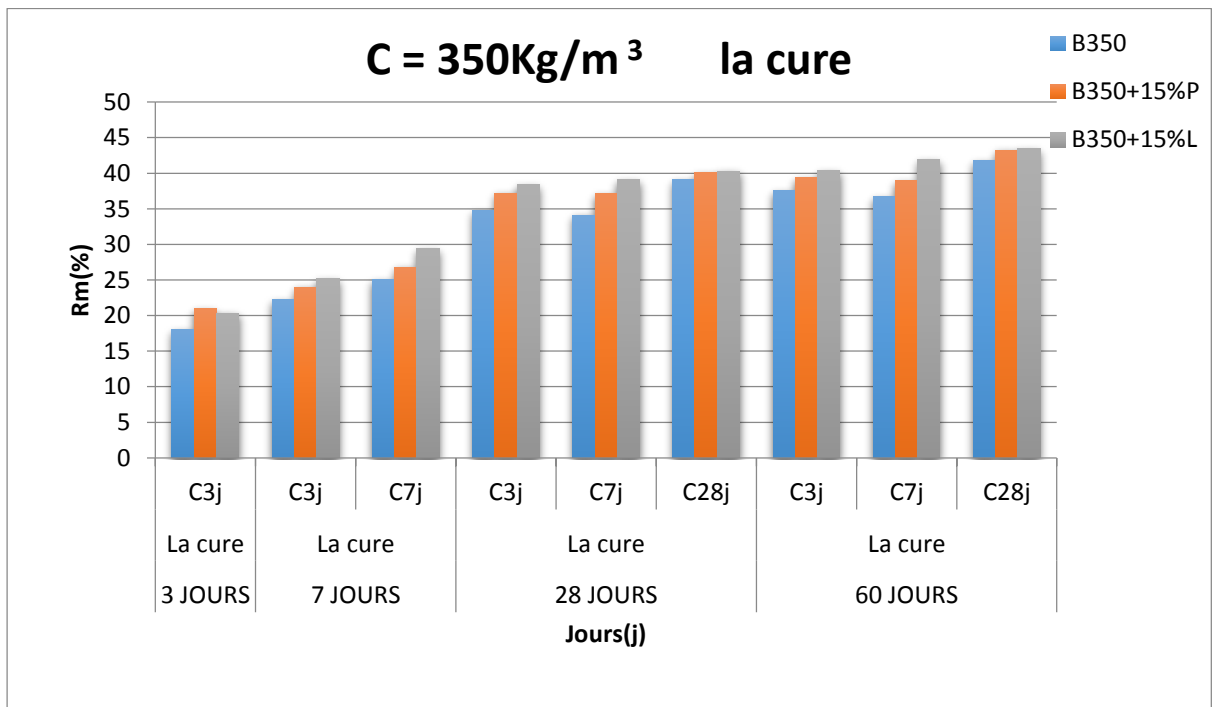


Figure V-31 : la résistance à la compression du cure de (B350, B350+15%L, B350+15%P)

V-3-1-5 Régime de cure et conservation d'eau :

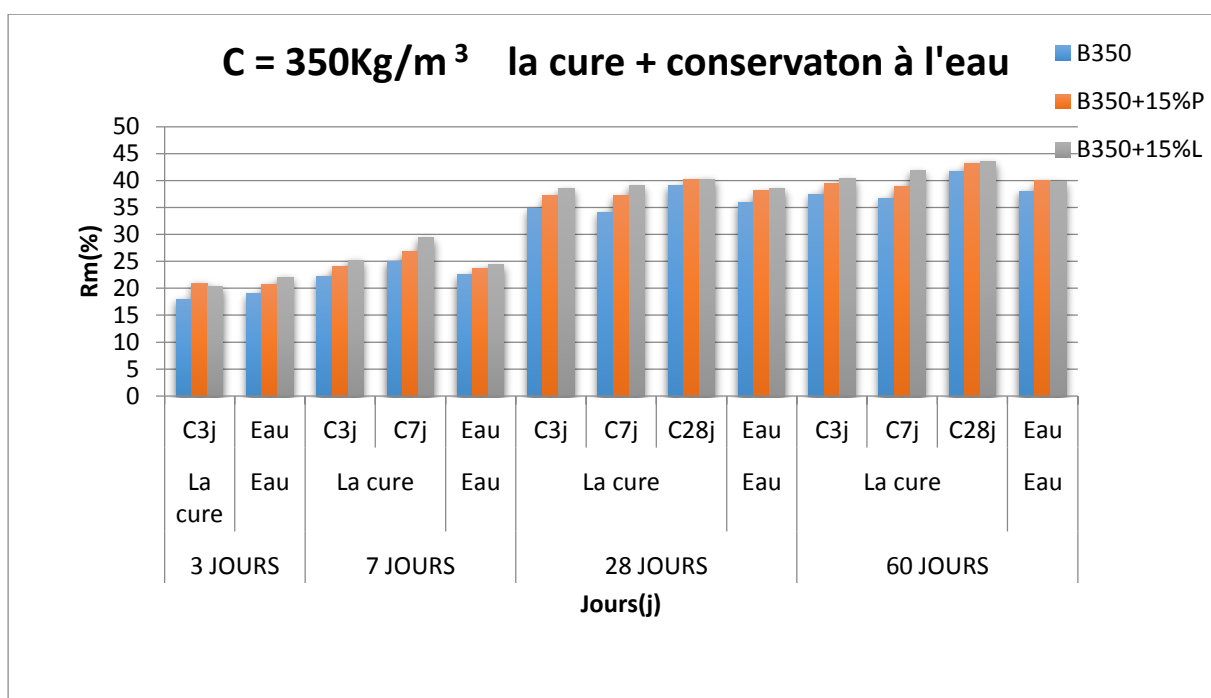


Figure V-32 : la résistance à la compression du cure et l'eau de (B350, B350+15%L, B350+15%P)

➤ **Commentaire :**

Les figures (28 à 32)

La résistance mécanique est augmentée en fonction de temps (jours) dans les types des bétons étudiés (B350, B350+15%P, B350+15%L).

La résistance mécanique de béton (B350) est inférieure à bétons (B350+15%P, B350+15%L) dans tout l'entourage des conservés.

Donc les bétons avec les ajouts (laitier et pouzzolane) présentent également la résistance mécanique la plus grande par rapport aux bétons sans ajout.

La résistance mécanique des bétons conservés à l'eau est élevée par rapport aux bétons conservés à l'air.

Le régime de cure à l'eau augmente la résistance mécanique par rapport à la conservation à l'air.

D'après les résultats obtenus sur le régime de cure à l'eau, on constate que le béton conservé à l'eau d'une durée de 28 jours présente une résistance plus élevée que celle de 3 et 7 jours.

V-1-2 Les résistances à la compression des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et à l'air :

V-3-2-1 Conservation à l'eau :

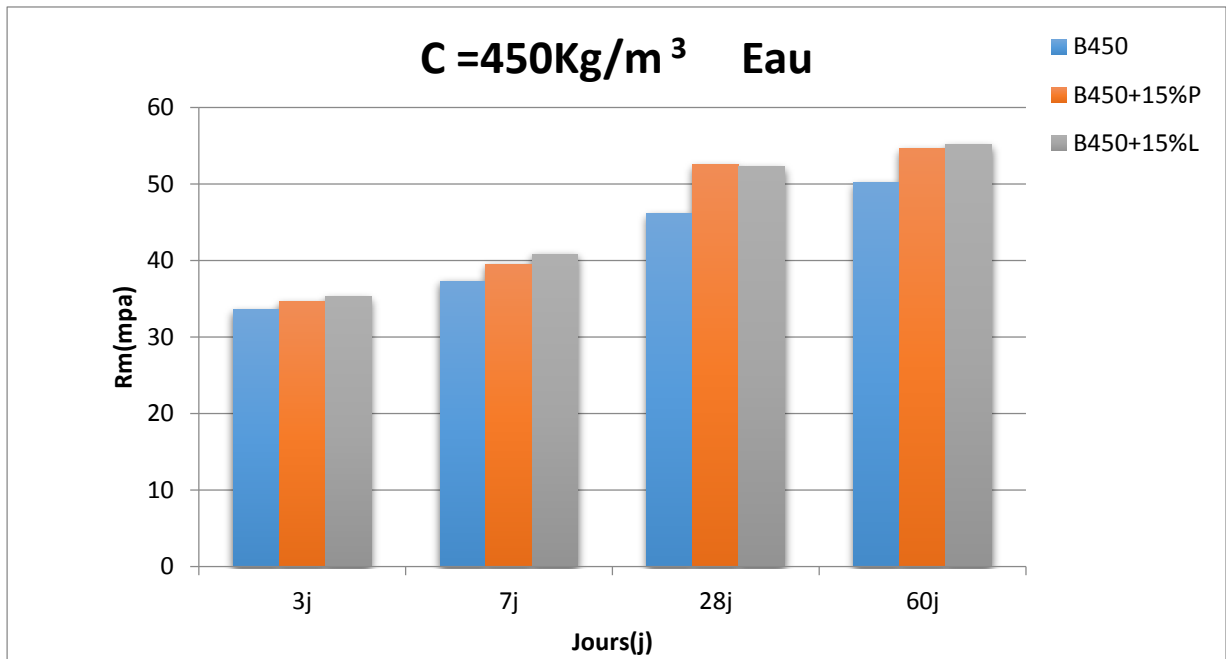


Figure V-33 : la résistance à la compression conserver à l'eau de (B450, B450+15%L, B450+15%P)

V-3-2-2 Conservation à l'air :

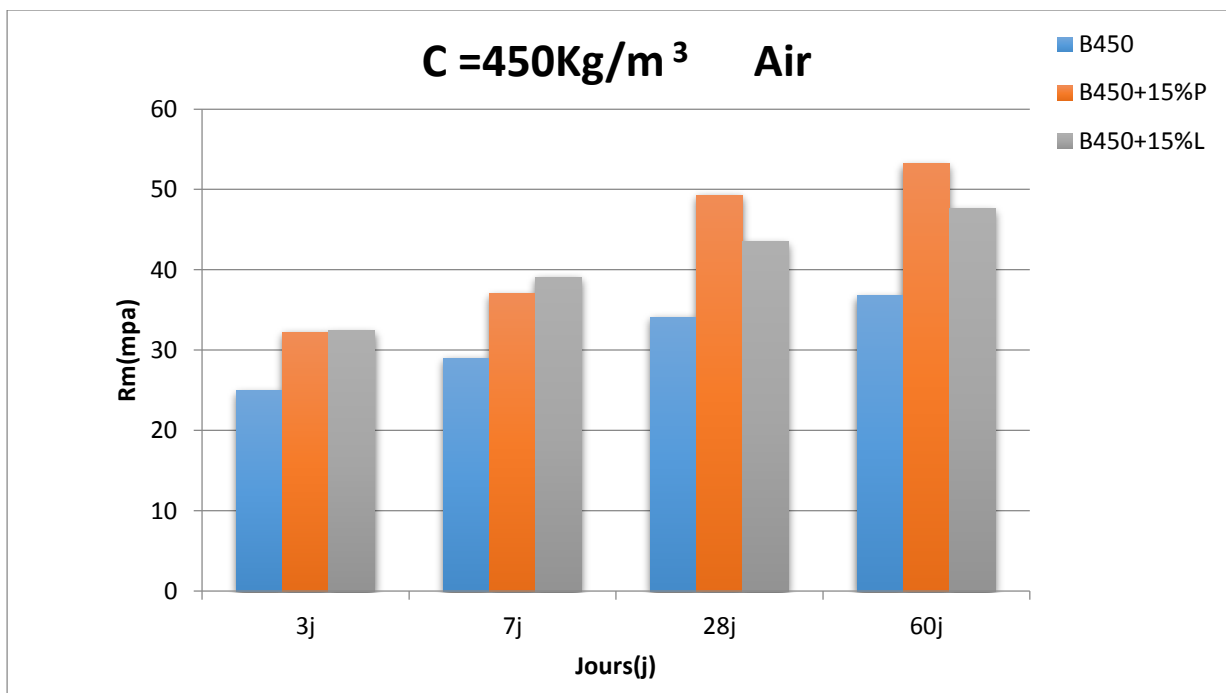


Figure V-34 : la résistance à la compression conserver à l'air de (B450, B450+15%L, B450+15%P)

V-3-2-3 Conservation à l'air et l'eau :

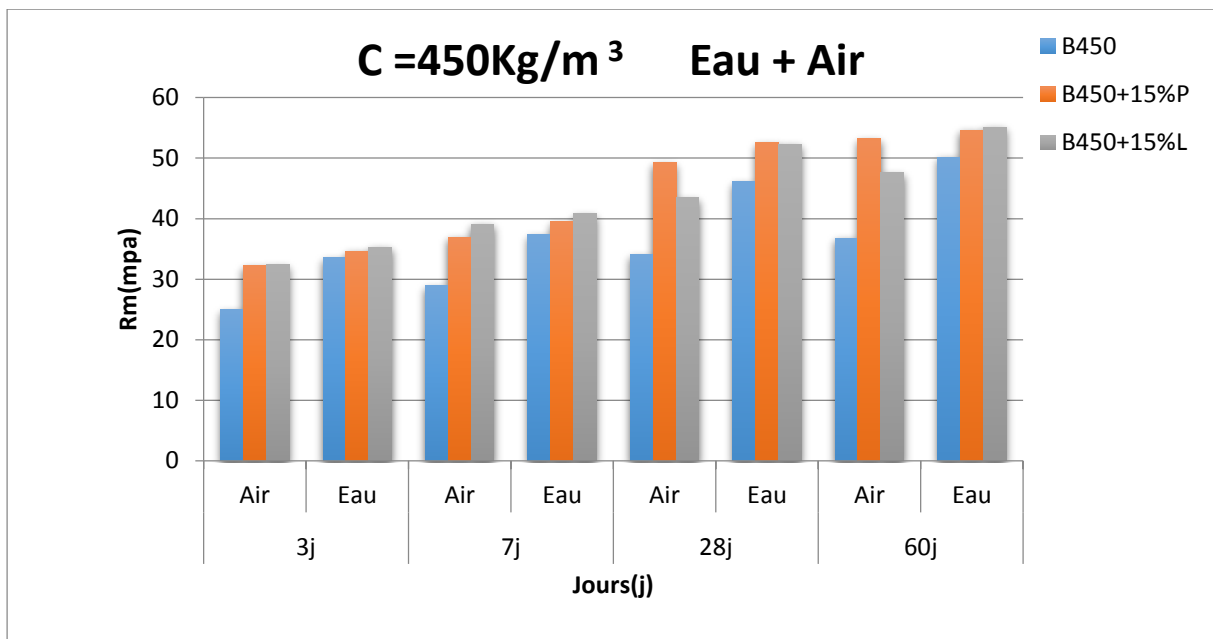


Figure V -35 : la résistance à la compression conserver à l'air et l'eau de (B450, B450+15%L, B450+15%P)

V-3-2-4 Régime de cure :

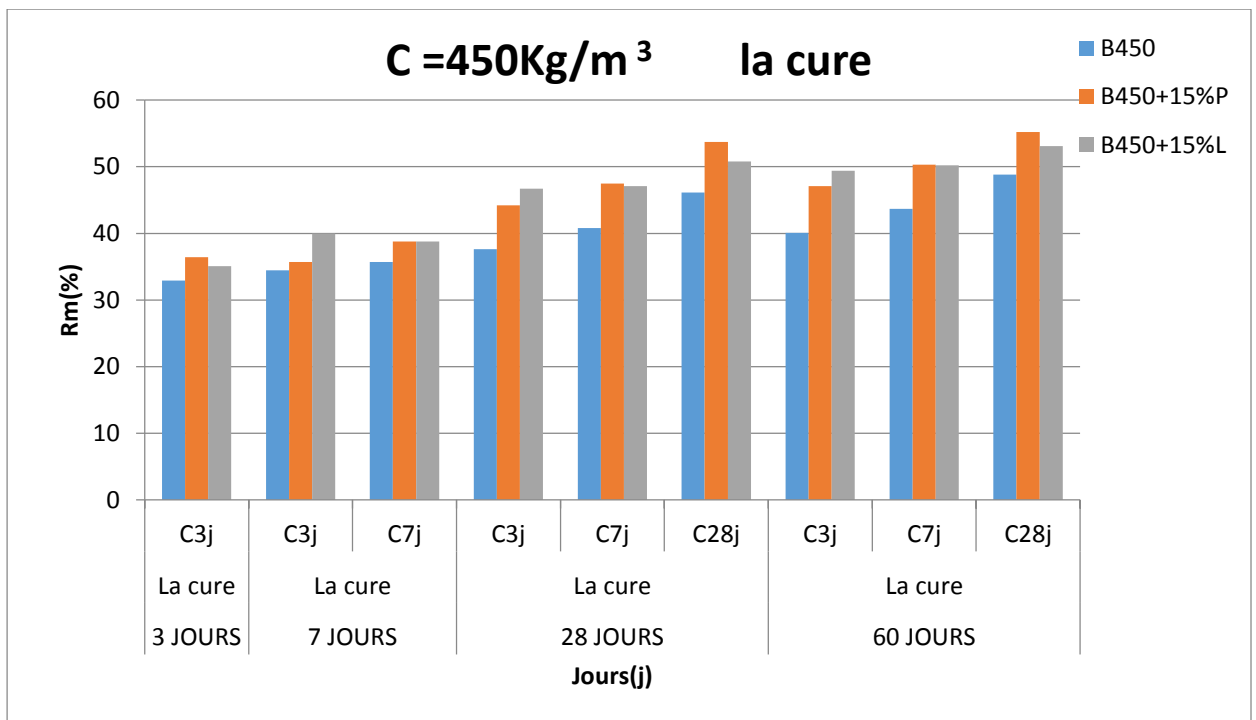


Figure V-36 : la résistance à la compression de la cure de (B450, B450+15%L, B450+15%P)

V-3-2-5 Régime de cure et conservation d'eau

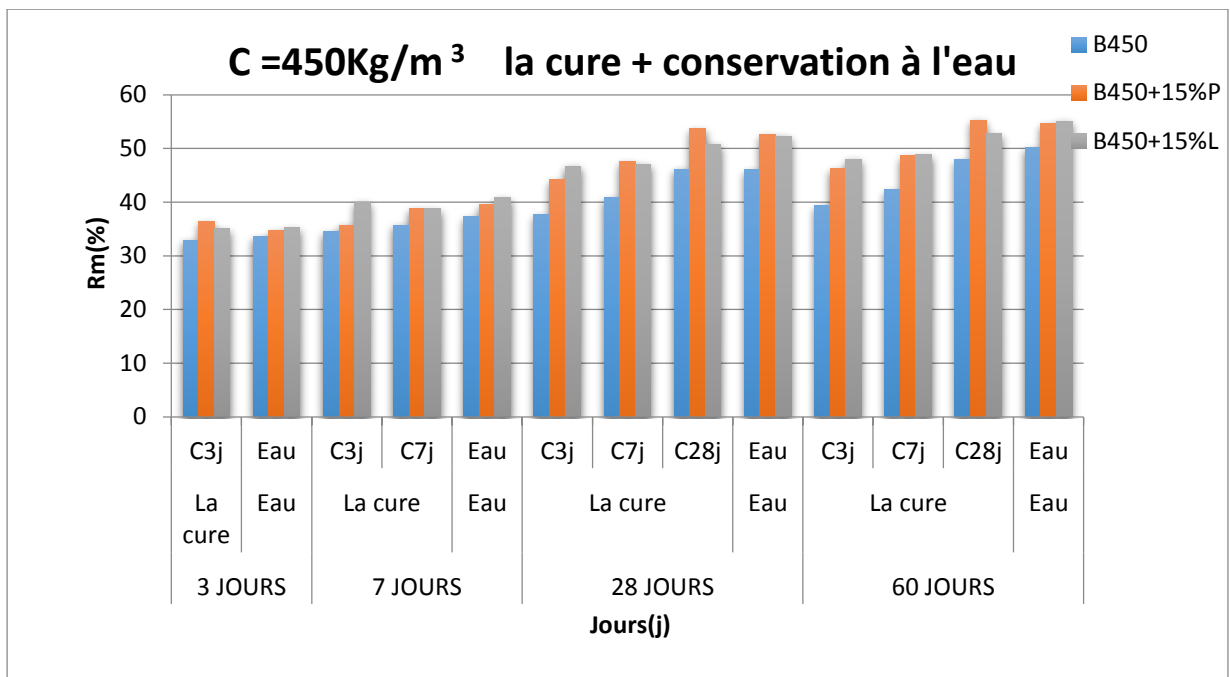


Figure V-37 : la résistance à la compression de la cure et l'eau de (B450, B450+15%L, B450+15%P)

➤ **Commentaire :**

D'après Les figures (33 à 37) on observe :

La résistance mécanique est augmentée en fonction de temps (jours) dans les types des bétons étudiés (B450, B450+15%P, B450+15%L).

La résistance mécanique de béton (B450) est inférieure à bétons (B450+15%P, B450+15%L) dans tout l'environnement des conservés .

Donc les bétons avec les ajouts (laitier et pouzzolane) présentent également la résistance mécanique la plus grande par rapport les bétons sans ajout .

La résistance mécanique des bétons conservés à l'eau est élevée par rapport les bétons conservés à l'air.

Le régime de cure à l'eau augmente la résistance mécanique par rapport à la conservation à l'air.

D'après les résultats obtenus sur le régime de cure à l'eau on constate que le béton conservé à l'eau d'une durée de 28 jours présente une résistance plus élevée à celle de 3 et 7 jours.

V-3-3 Les résistances à la compression des bétons étudiés (B350, B350+15%P, B350+15%L, B450+, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et à l'air :

V-3-3-1 Conservation à l'eau :

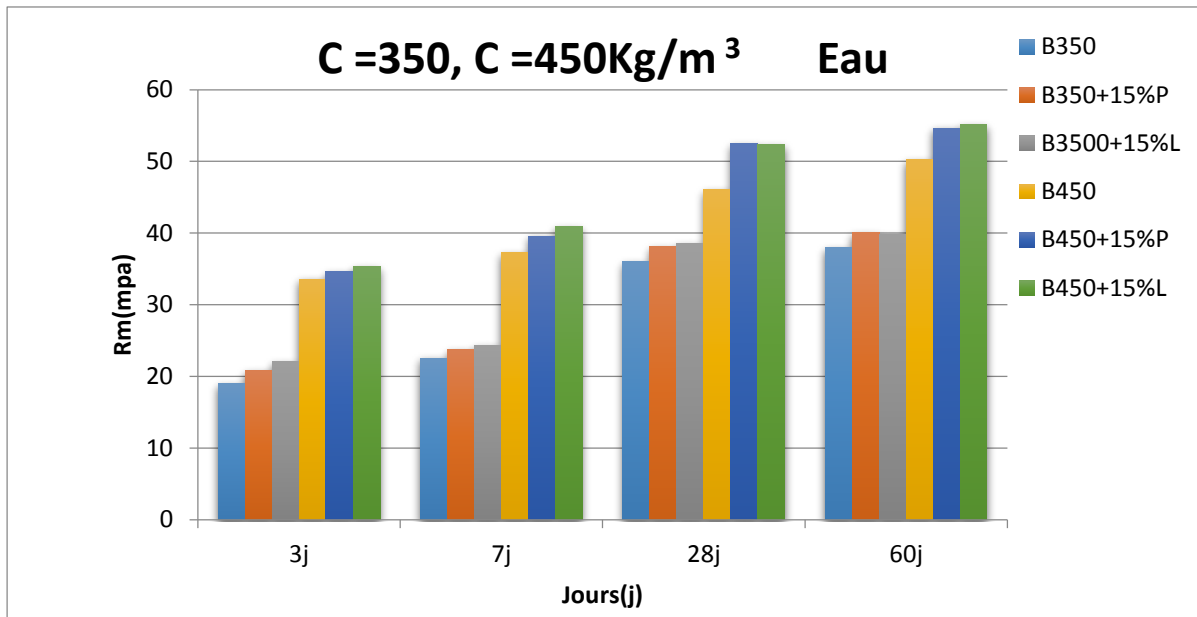


Figure V-38 : la résistance à la compression de l'eau de (B350, B350+15%P, B350+15%L, B450+, B450+15%L, B450+15%P)

V-3-3-2 Conservation à l'air :

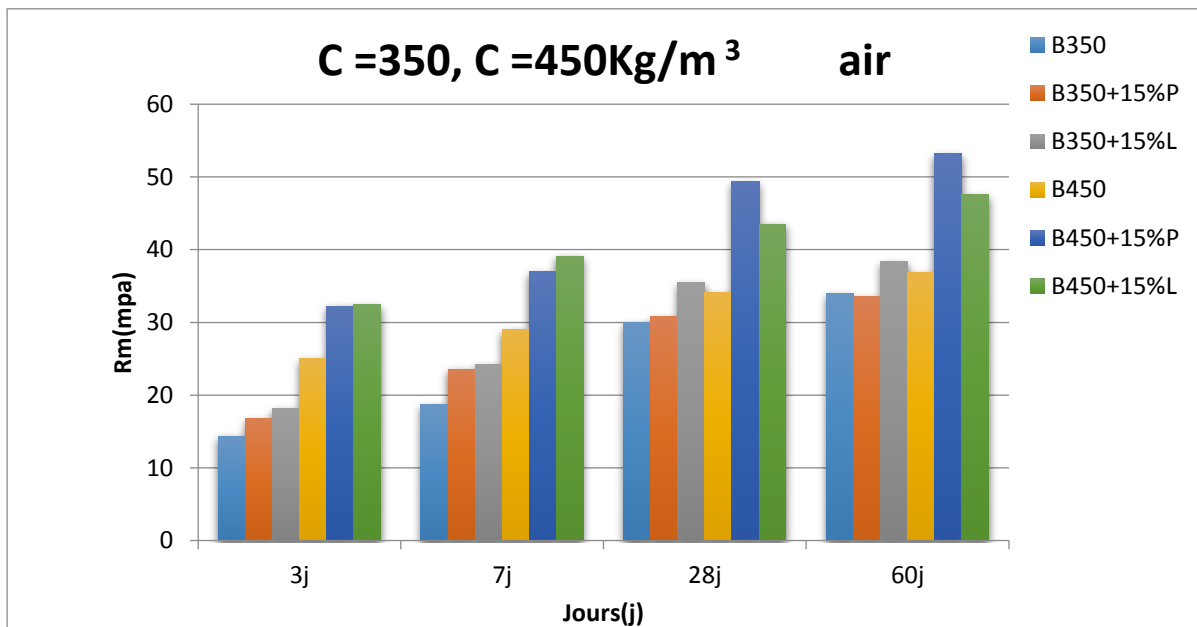


Figure V-39 : la résistance à la compression de l'eau de (B350, B350+15%P, B350+15%L, B450+, B450+15%L, B450+15%P)

V-3-3-3 Conservation à l'air et l'eau :

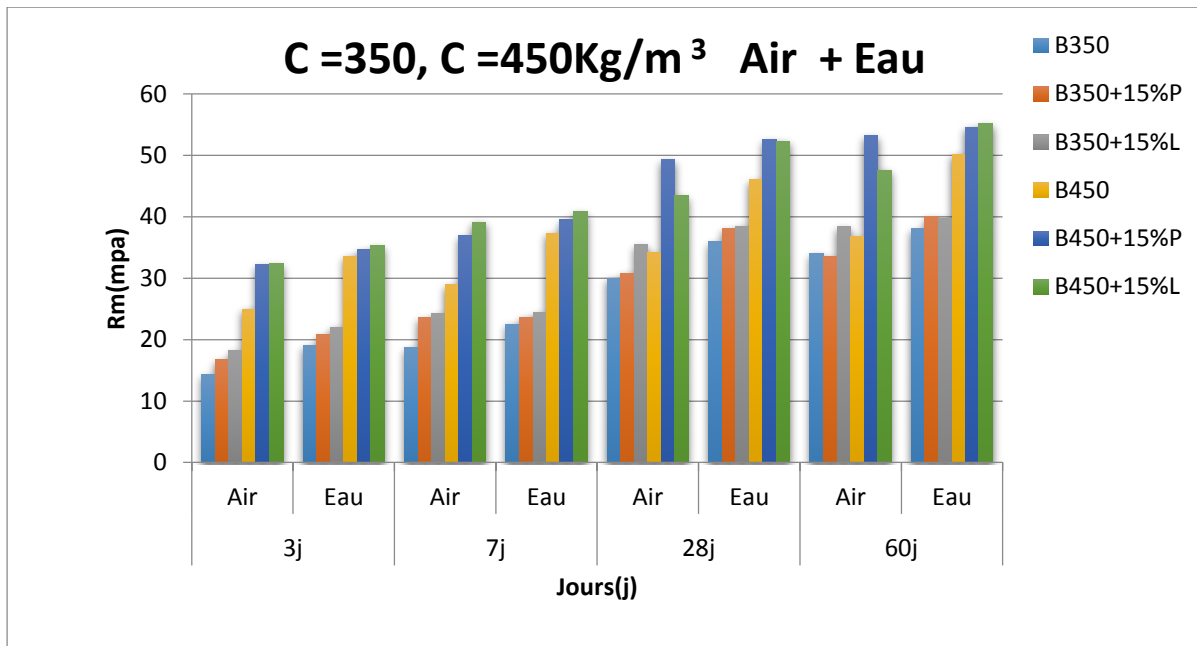


Figure V-40 : la résistance à la compression de l'eau et l'air de (B350, B350+15%P, B350+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P)

V-3-3-4 Régime de cure

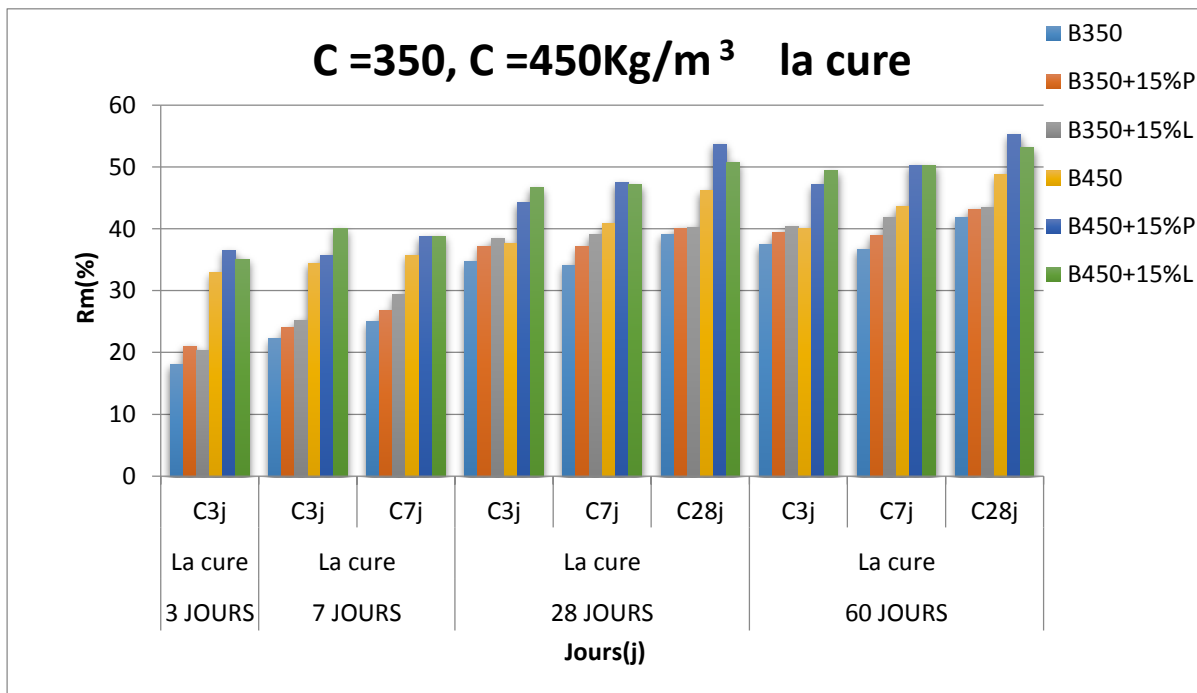


Figure V-41 : la résistance à la compression de la cure de (B350, B350+15%P, B350+15%L, B450, B450+15%L, B450+15%P)

V-3-3-5 Régime de cure et conservation d'eau

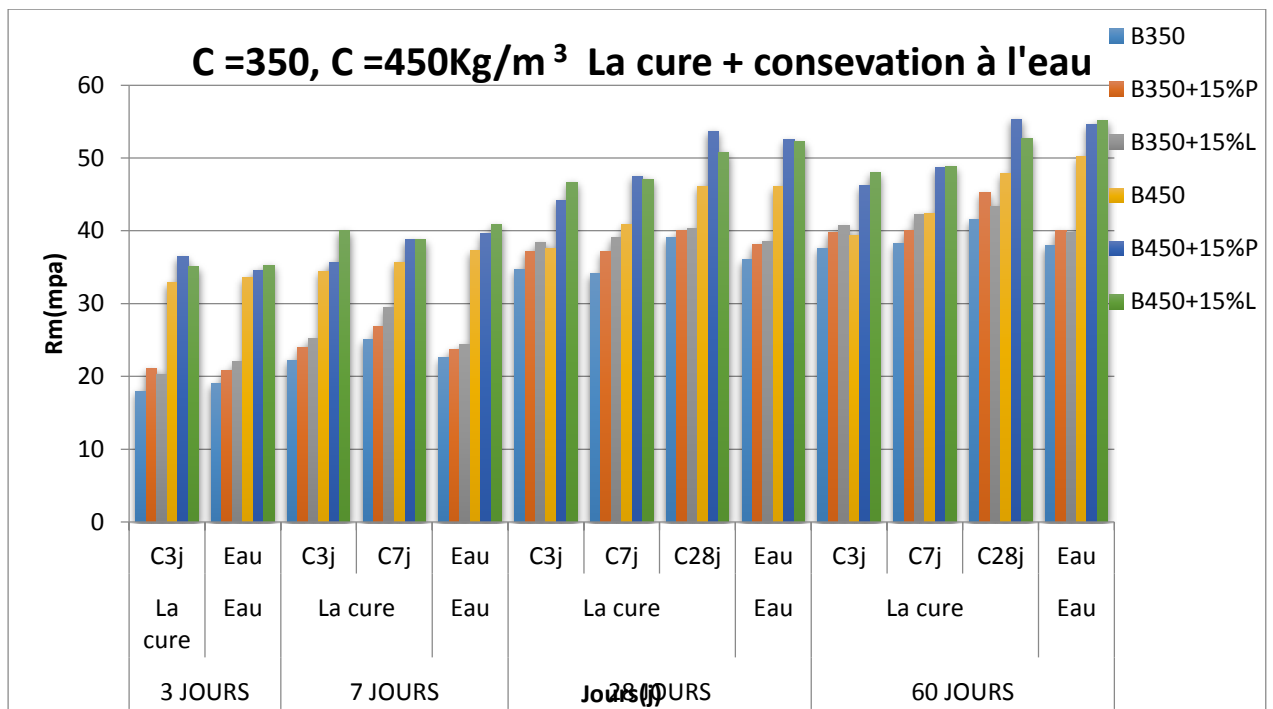


Figure V-42 : la résistance à la compression de la cure et l'eau de (B350, B350+15%P, B350+15%L, B450, B450+15%P, B450+15%L)

➤ **Commentaire :**

Les figures (38 à 42)

La résistance mécanique est augmentée en fonction de temps (jours) dans tout les types des bétons étudiés (B350, B350+15%P, B350+15%L, B450, B450+15%P, B450+15%L).

La résistance mécanique des bétons (B350, B350+15%P, B350+15%L) est inférieure à bétons (B450, B450+15%P, B450+15%L) dans tout l'entourage des conservés.

On constate que les bétons avec les ajouts (laitier et pouzzolane) présentent également la résistance mécanique la plus grande par rapport les bétons sans ajout.

Donc la résistance mécanique avec le dosage de ciment (C=450) élevé par rapport la résistance mécanique de dosage (C= 350) .

La résistance mécanique des bétons que conservés à l'eau élevée par rapport les bétons à conservés à l'air.

Le régime de cure à l'eau a augmenté la résistance mécanique à celle de conservation à l'air.

D'après les résultats obtenus sur le régime de cure à l'eau on constate que le béton conservé à l'eau d'une durée de 28 jours présente une résistance plus élevée à celle de 3 et 7 jours.

V-4 Porosité :

V-4-1 Porosité p% :

V-4-1-1 La porosité (P%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'eau et à l'air :

V-4-1-1-1 Conservation à l'eau :

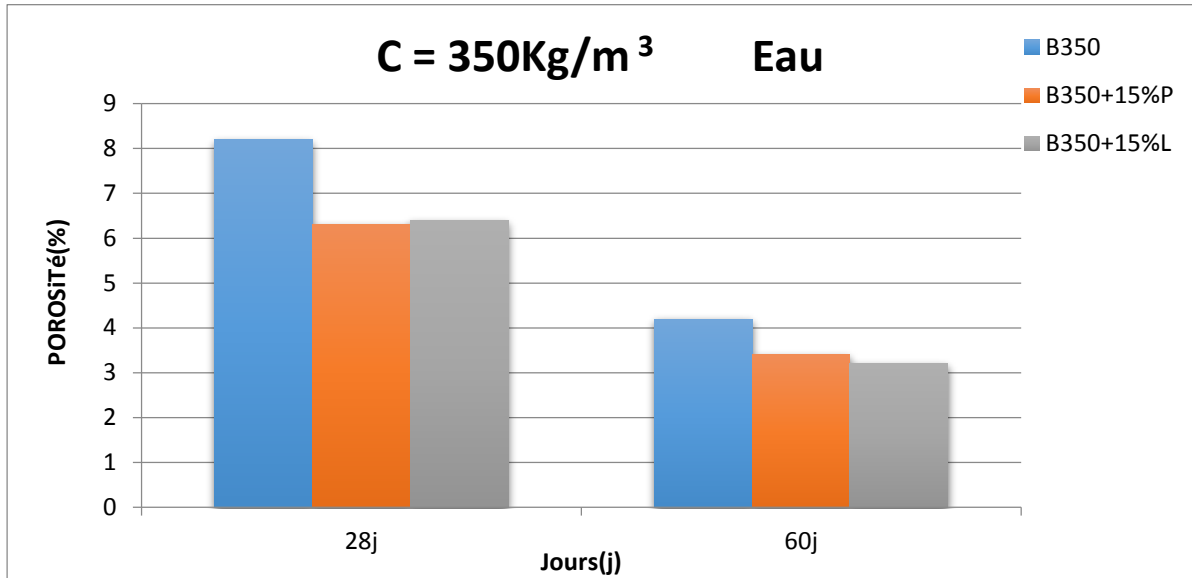


Figure V-43 La porosité (p%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'eau

V-4-1-1-2 Conservation à l'air :

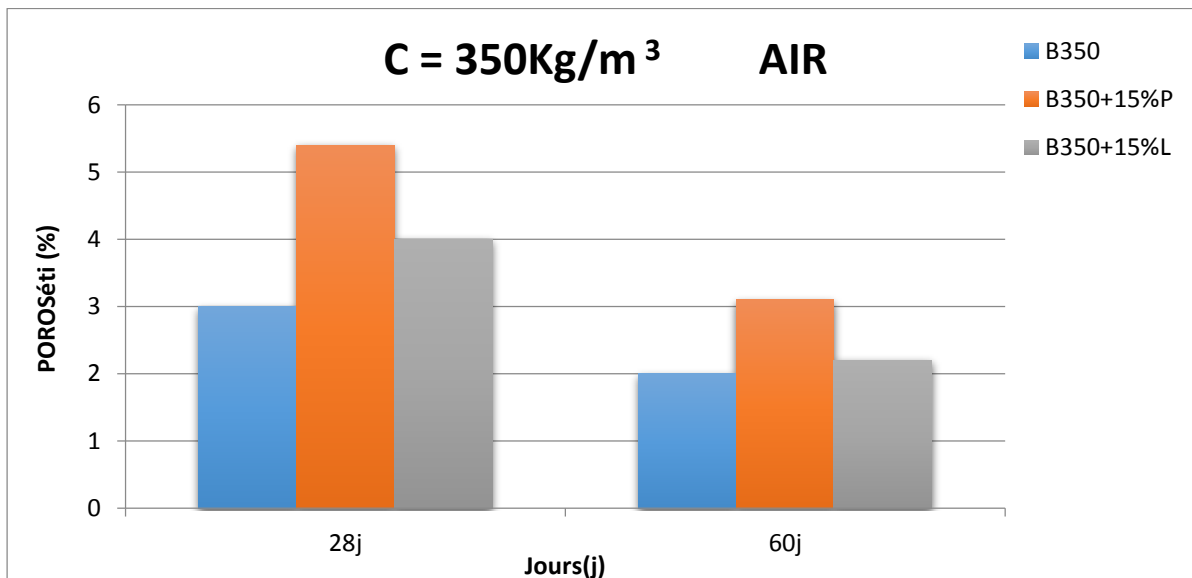


Figure V-44 La porosité (p%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'air

V-4-1-1-3 Conservation à l'air et l'eau :

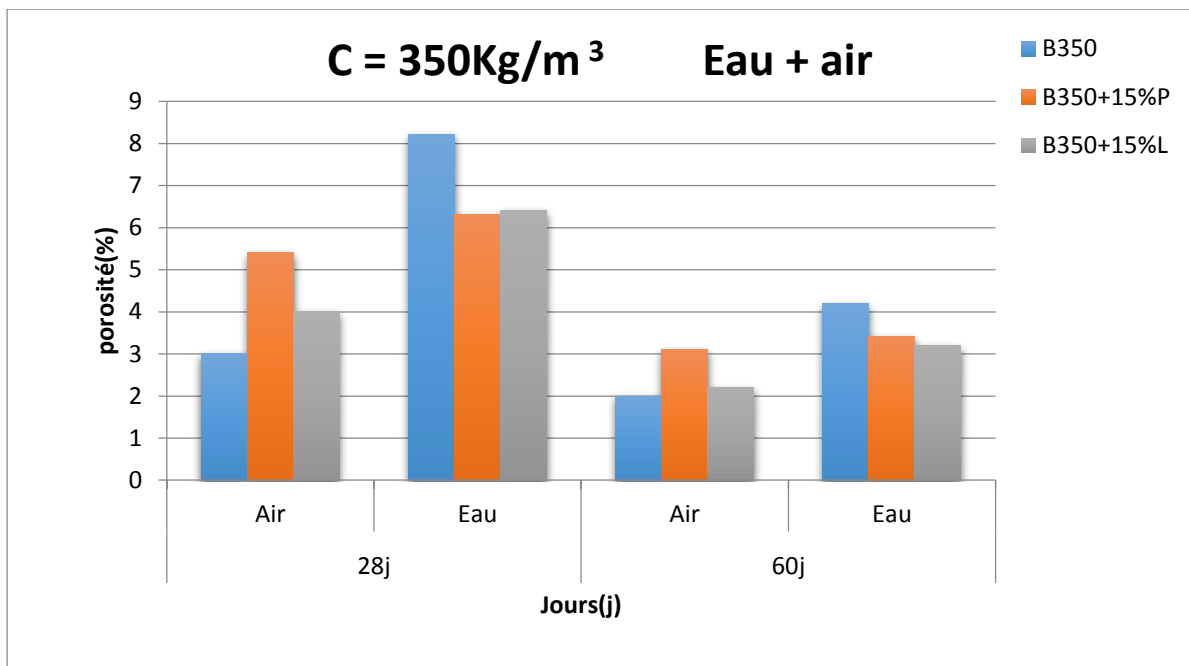


Figure V-45 La porosité (p%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'eau et l'air

V-4-1-1-4 Régime de cure et conservation d'eau :

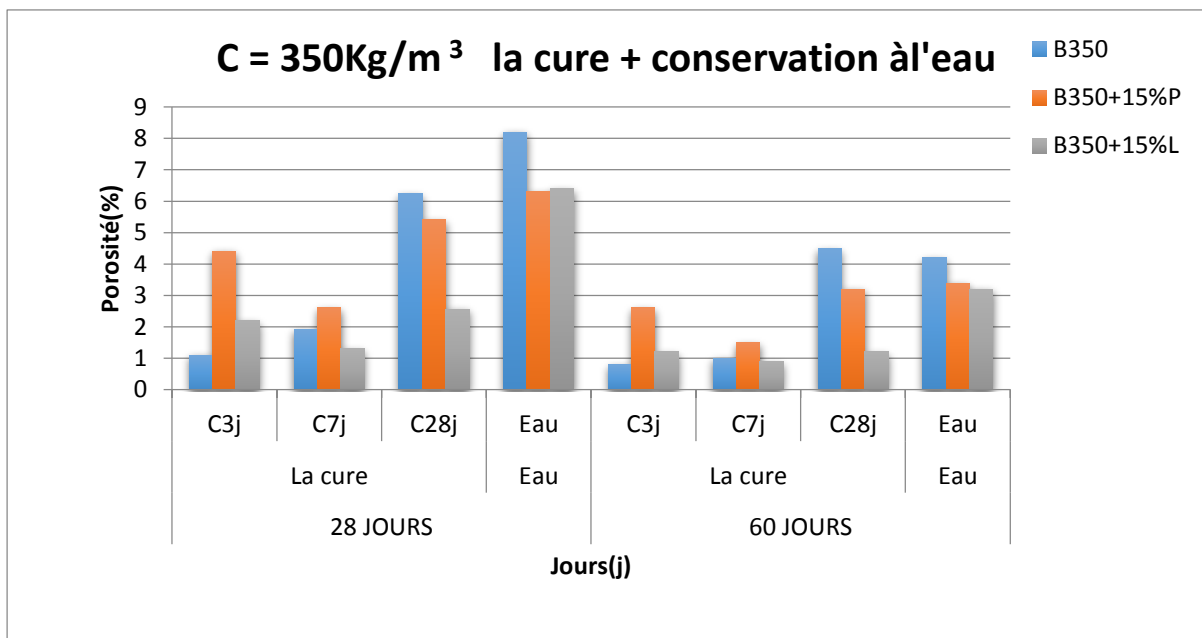


Figure V-46 La porosité (P %) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'eau régime de cure

➤ **Commentaire :**

Les figures (43 à 46) présente la variation de la porosité en fonction du temps

On observe qu'il y a une démunissions du porosité en fonction de temps (jours) dans tout les types des bétons étudiés (B350, B350+15%P, B350+15%L).

On constate que les bétons sans ajout présentent également la porosité la plus grande par rapport les bétons avec ajout.

La porosité des bétons (B) est supérieur a celle des bétons (B350+15%P, B350+15%L) dans tout l'entourage des conservé .

La porosité des bétons a conservé dans l'eau plus grande que bétons à l'air.

V-4-1-2 La porosité (P%) des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et à l'air :

V-4-1-2-1 Conservation à l'eau :

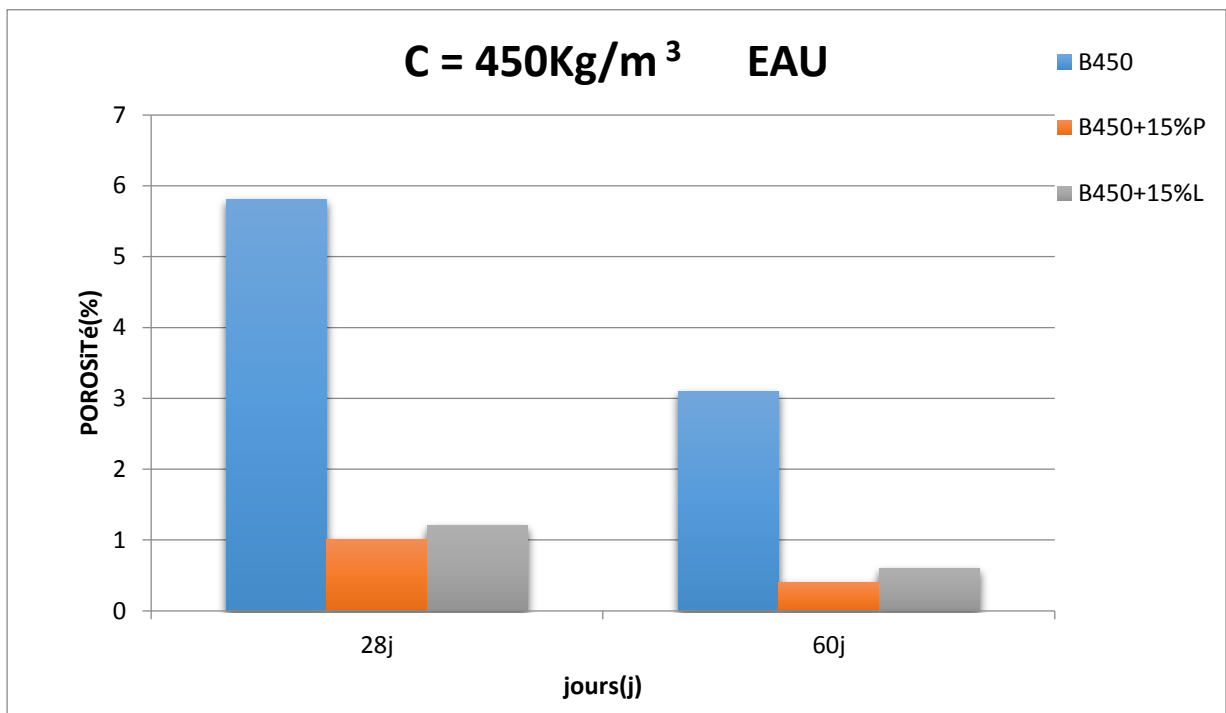


Figure V-47 La porosité (p%) des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau

V-4-1-2-2 Conservation à l'air :

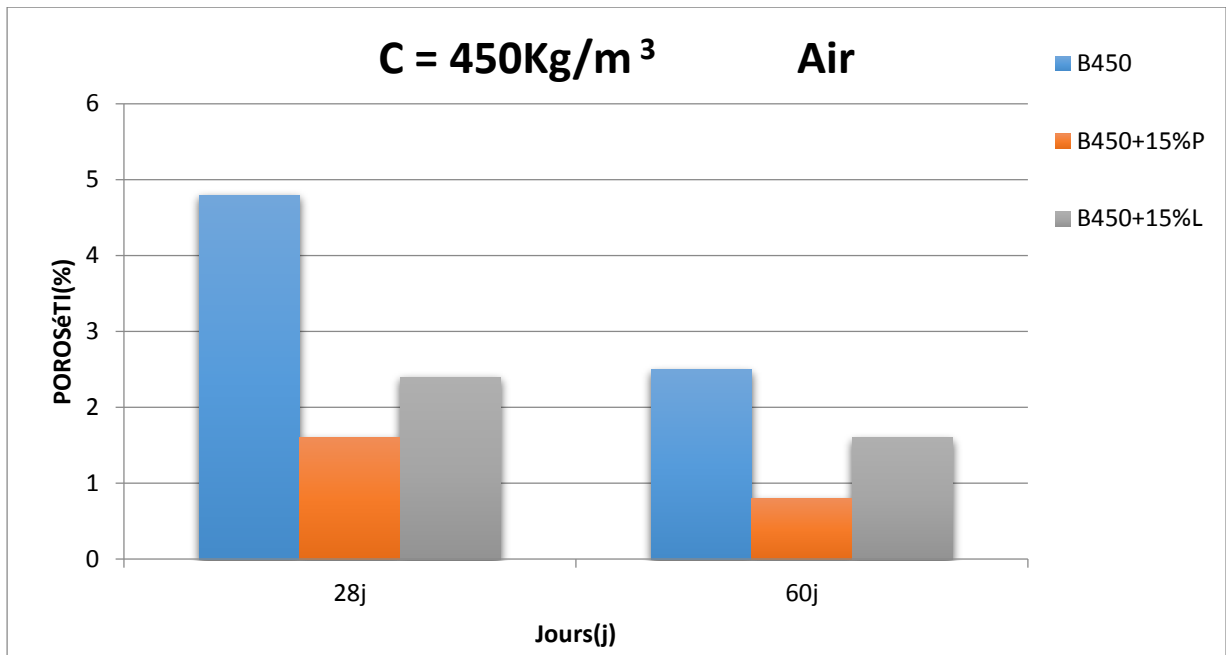


Figure V-48 La porosité (p%) des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'air

V-4-1-2-3 Conservation à l'air et l'eau :

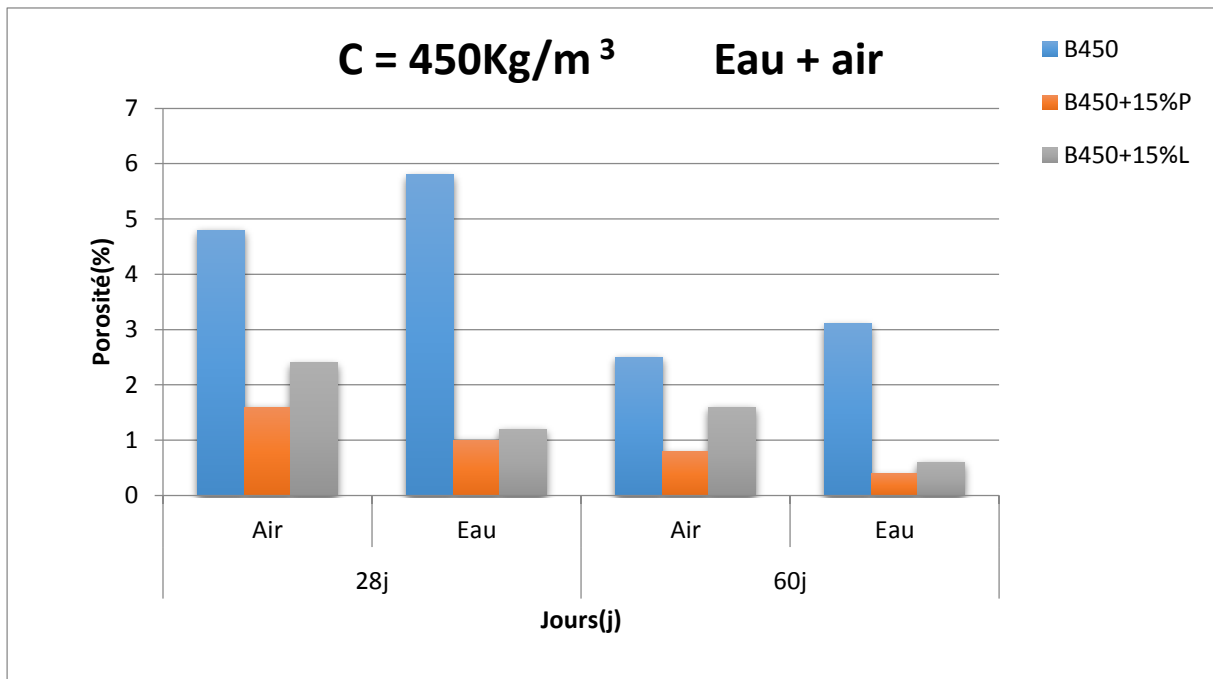


Figure V-49 La porosité (p%) des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et l'air

V-4-1-2-4 Régime de cure et conservation d'eau :

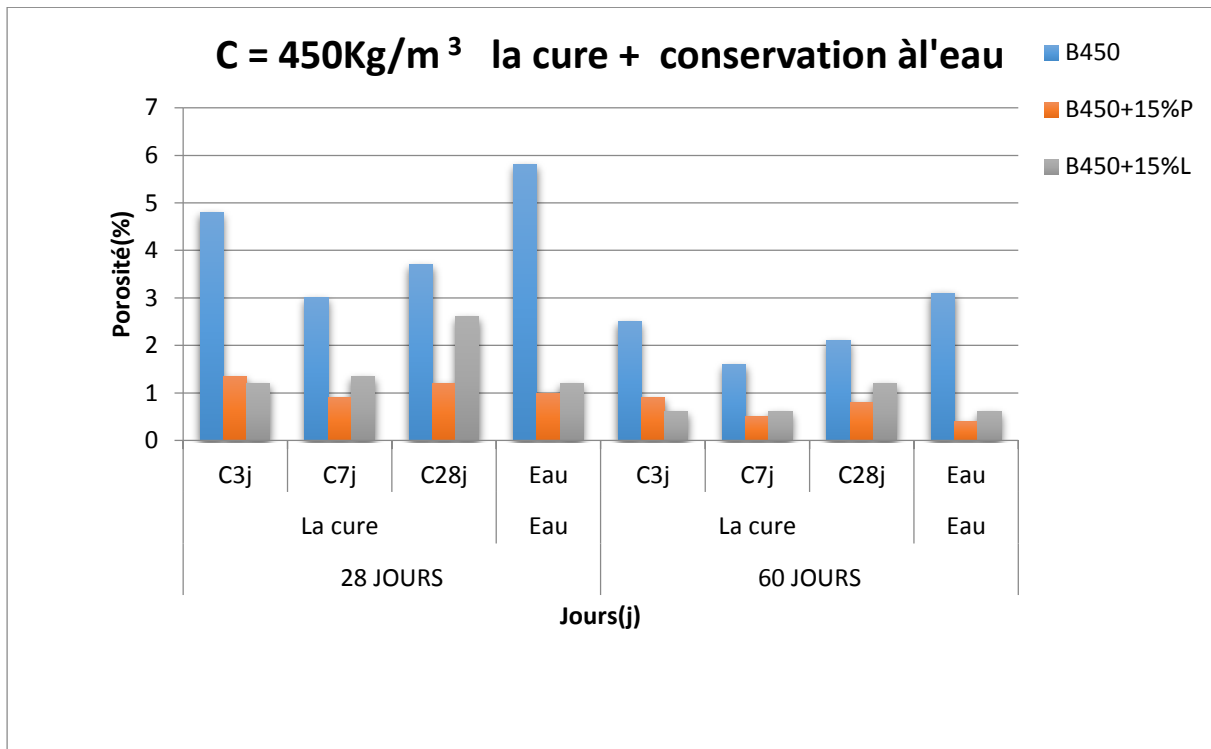


Figure V-50 La porosité (P %) des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau régime de cure

➤ **Commentaire :**

Les figures (47 à 50) présente la variation de la porosité en fonction du temps

On observe qu'il y a une démunissions du porosité en fonction de temps (jours) dans tout les types des bétons étudiés (B450, B450+15%P, B450+15%L).

La porosité des bétons (B450) est supérieur a celle des bétons (B450+15%P, B450+15%L) dans tout l'entourage des conservé.

La porosité des bétons a conservé dans l'eau plus grande que bétons à l'air.

On constate que les bétons sans ajout présentent également la porosité la plus grande par rapport les bétons avec ajout .

V-4-1-3 la porosité(P%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et à l'air :

V-4-1-3 -1 Conservation à l'eau :

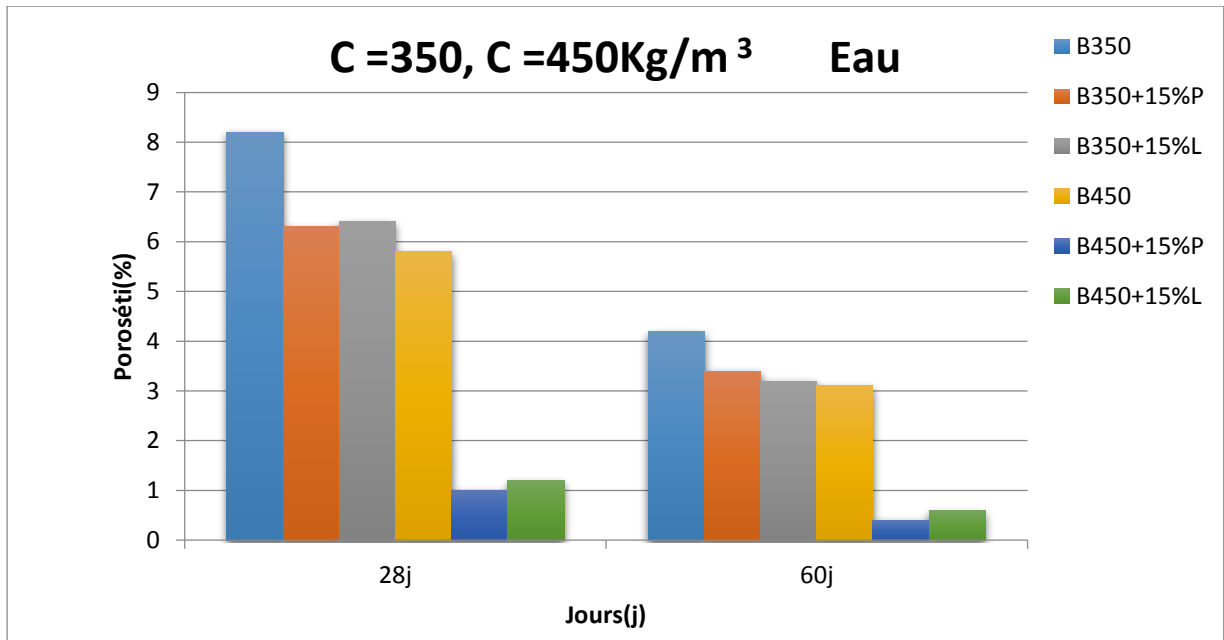


Figure V-51 La porosité (p%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau

V-4-1-3 -2 Conservation à l'air

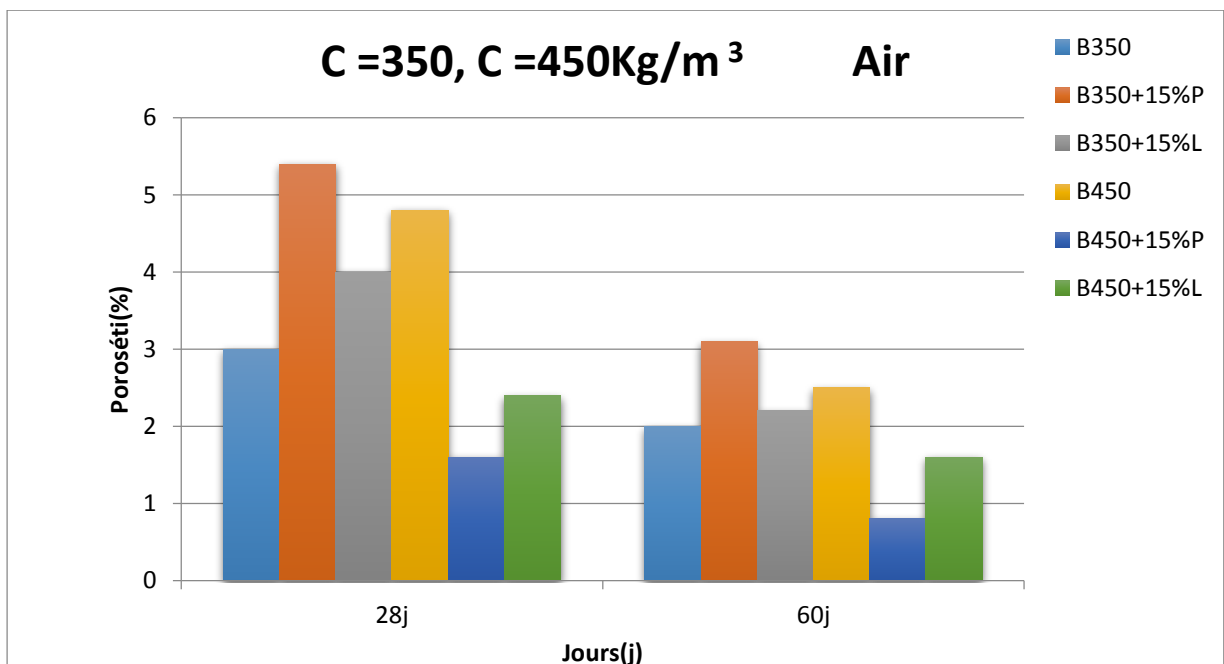


Figure V-52 La porosité (p%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'air

V-4-1-3 -3 Conservation à l'air et l'eau :

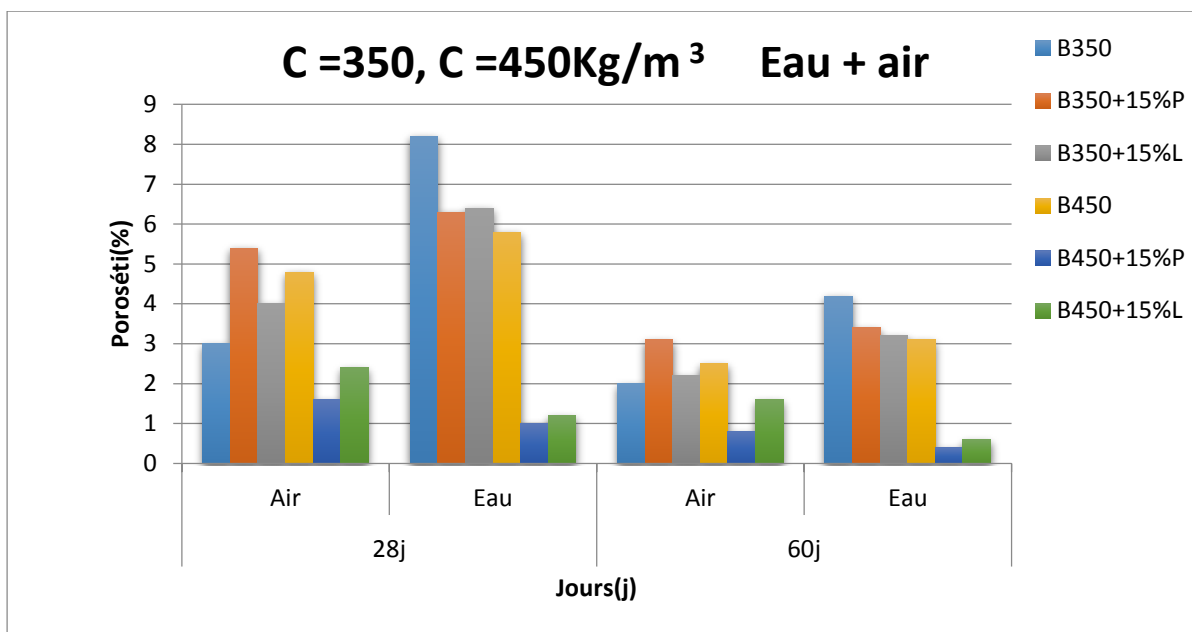


Figure V-53 La porosité (p%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et l'air

V-4-1-3 -4 Régime de cure et conservation d'eau :

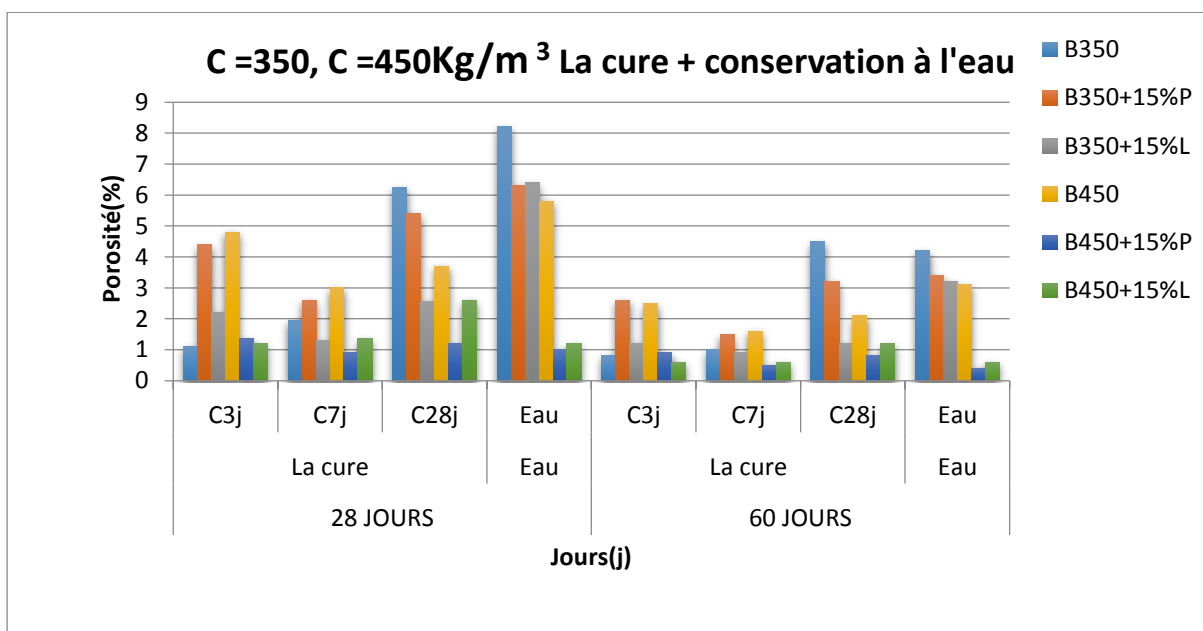


Figure V-54 La porosité (P %) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau régime de cure

➤ **Commentaire :**

Les figures (51 à 54) présente la variation de la porosité en fonction du temps
 La porosité des bétons a conservé dans l'eau plus grande que bétons à l'air

On observe qu'il y a une démunissions de la porosité en fonction de temps (jours) dans tout les types des bétons étudiés (B350, B350+15%P, B350+15%L, B450, B450+15%P, B450+15%L).

La porosité des bétons (B450 et B350) est supérieur a celle des bétons (B450+15%P, B450+15%L et B350+15%P, B350+15%L) dans tout l'entourage des conservé .

On constate que les bétons sans ajout présentent également la porosité la plus grande par rapport les bétons avec ajout .

Selon les résultats obtenus, on constate que l'augmentation de dosage de ciment a Diminué la porosité des bétons.

V-4-2 La porosité P, A, E%

V-4-2-1 La porosité (P, A, E%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'eau et à l'air :

V-4-2-1-1 Conservation à l'eau :

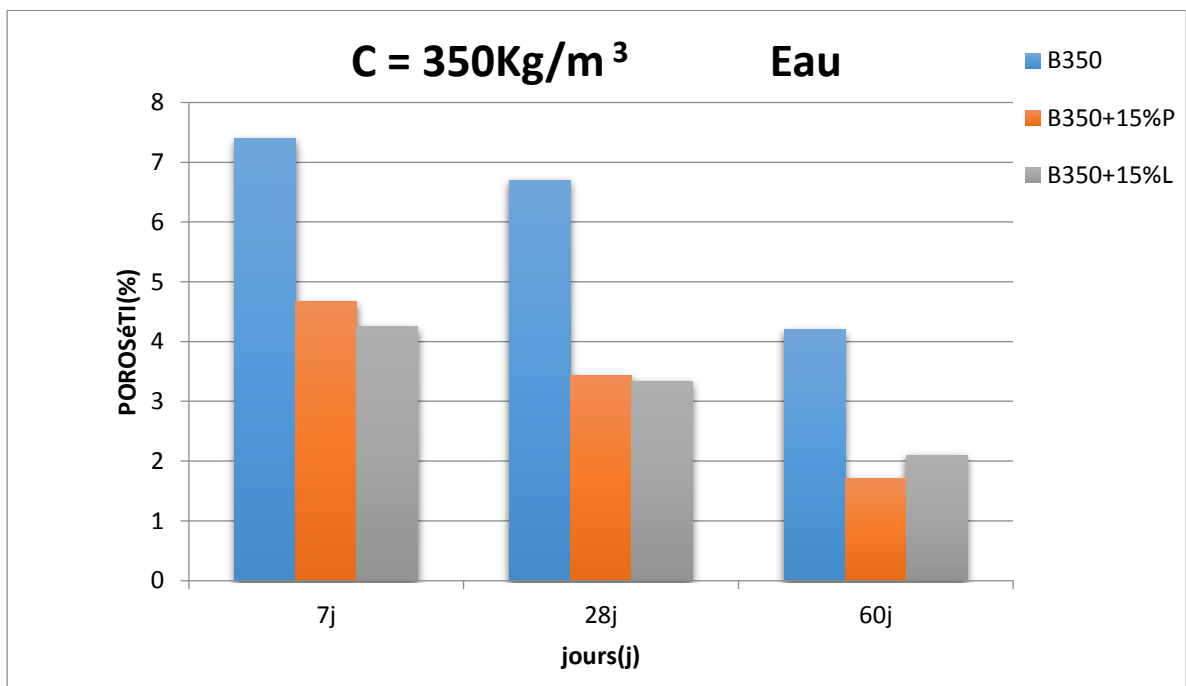


Figure V-55 La porosité (P, A, E%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'eau

V-4-2-1-2 Conservation à l'air :

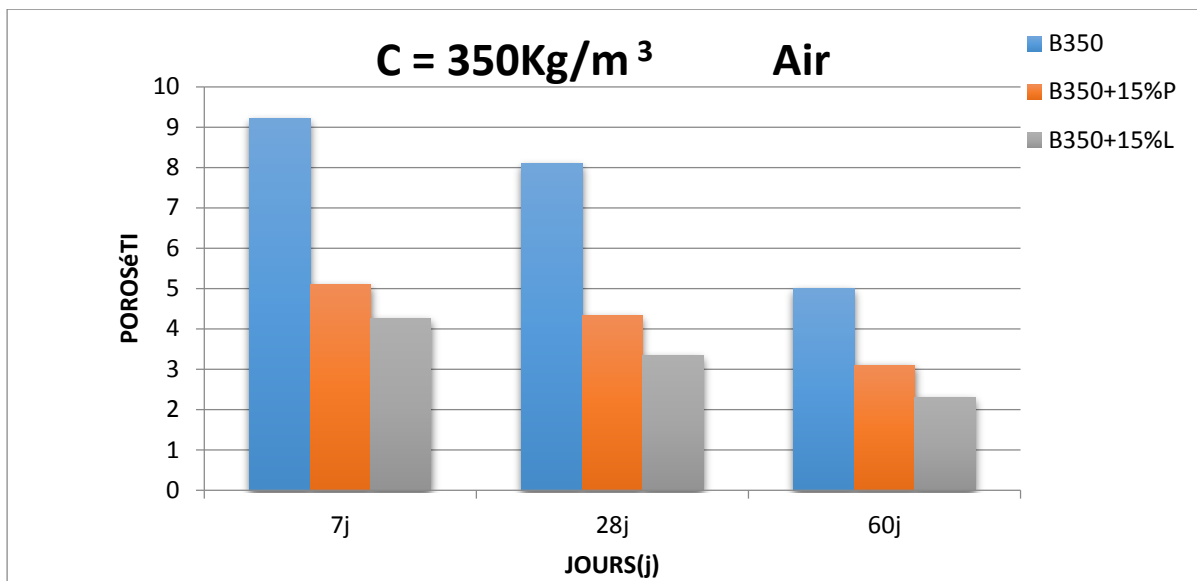


Figure V-56 La porosité (P, A, E%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'air

V-4-2-1-3 Conservation à l'eau et l'air :

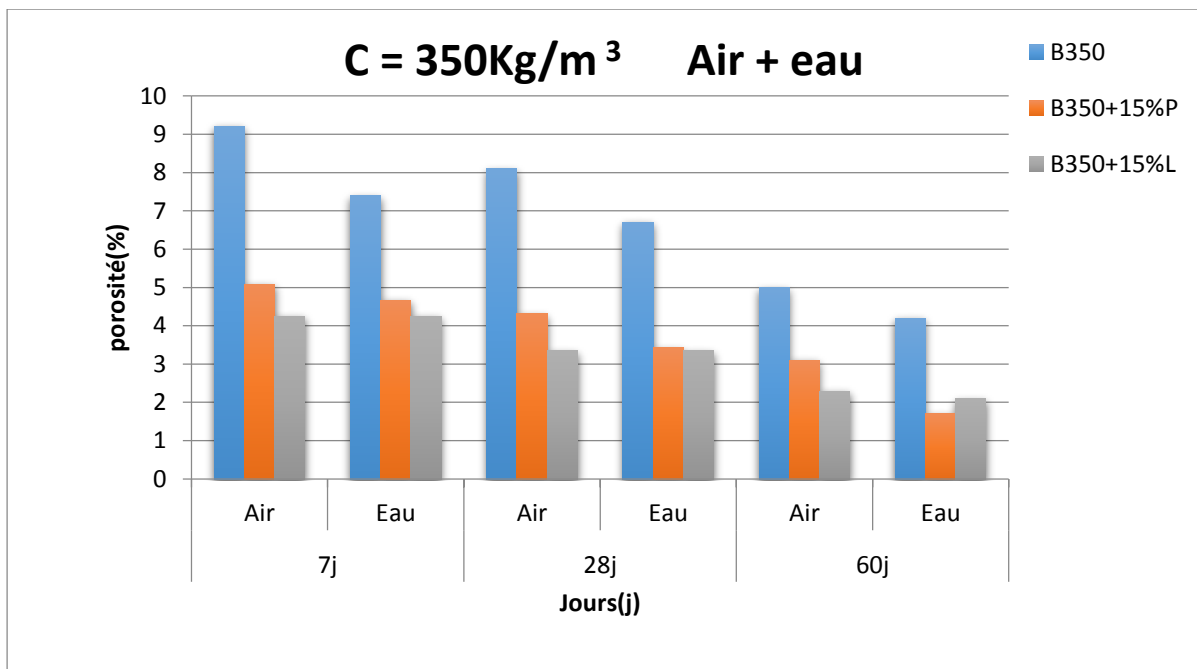


Figure V-57 La porosité (P, A, E%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'eau et l'air

V-4-2-1-4 Régime de cure et conservation d'eau :

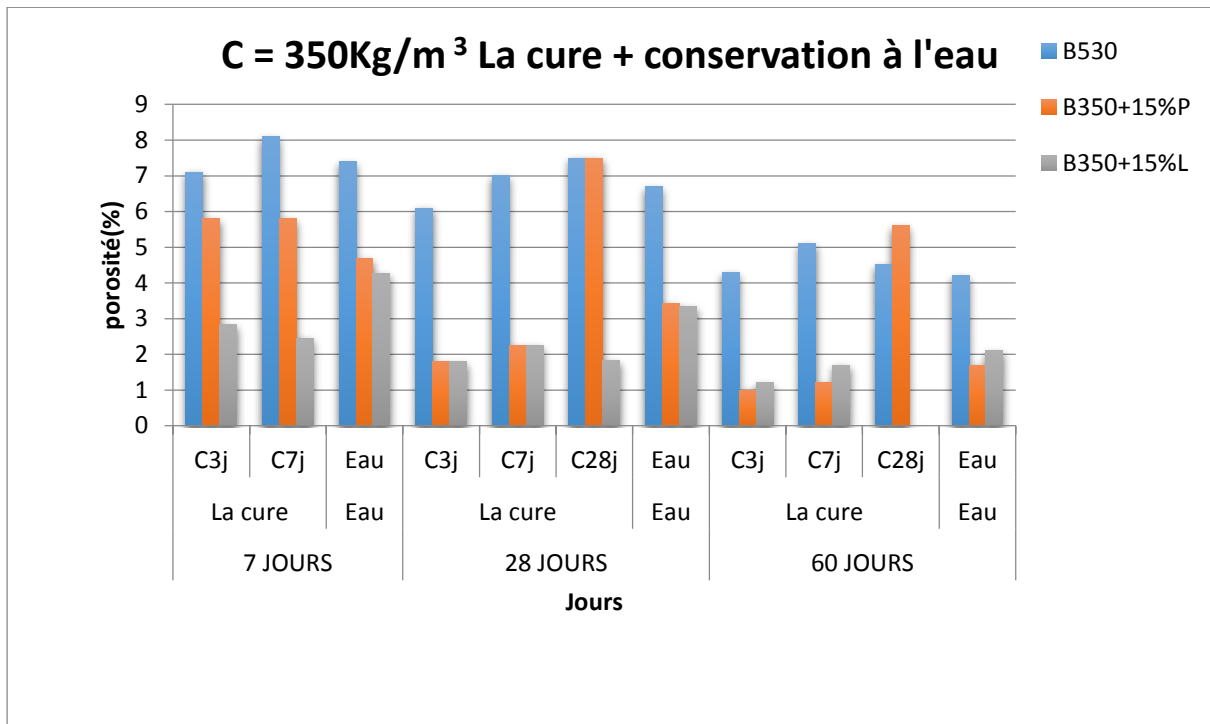


Figure V-58 La porosité (P, A, E%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P) conservés à l'eau régime de cure

➤ **Commentaire :**

Les figures (55 à 58) présente la variation de la porosité en fonction du temps

On observe qu'il y a une démunissions du porosité en fonction de temps (jours) dans tout les types des bétons étudiés (B350, B350+15%P, B350+15%L).

La porosité des bétons (B350) est supérieur a celle des bétons (B350+15%P, B35015%L) dans tout l'entourage des conservé et la porosité des bétons à l'air supérieure des bétons à l'eau .

On constate que les bétons sans ajout présentent également la porosité la plus grande par rapport les bétons avec ajout.

V-4-2-2 La porosité (P, A, E%) des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et à l'air :

V-4-2-2-1 Conservation à l'eau :

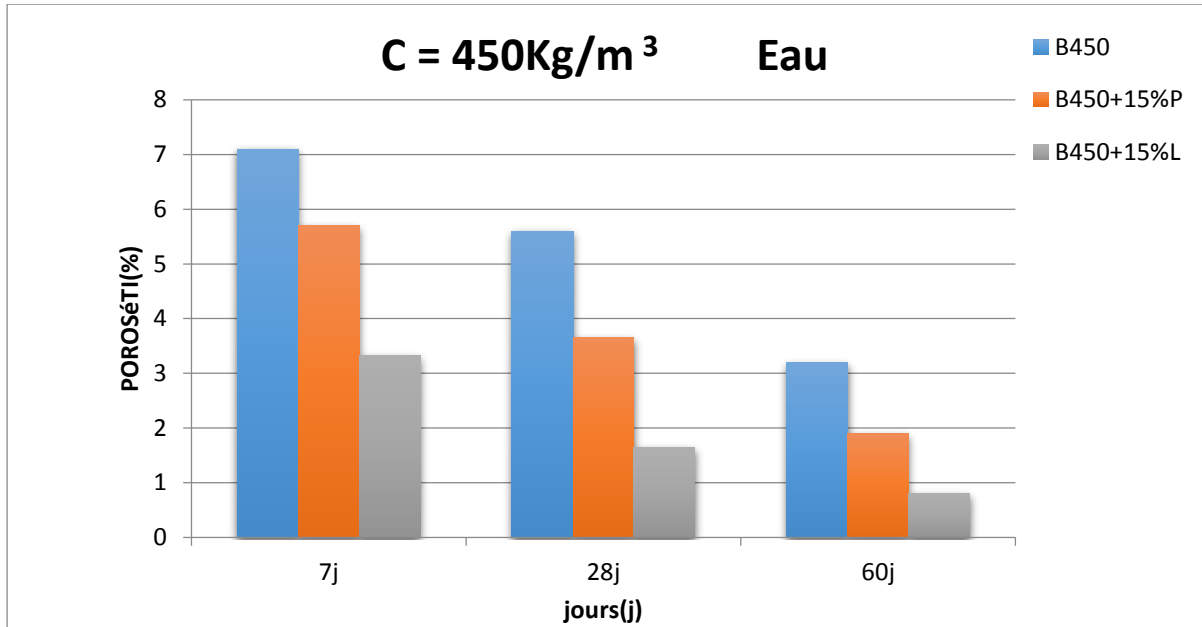


Figure V-59 La porosité (P, A, E%) des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau

V-4-2-2-2 Conservation à l'air :

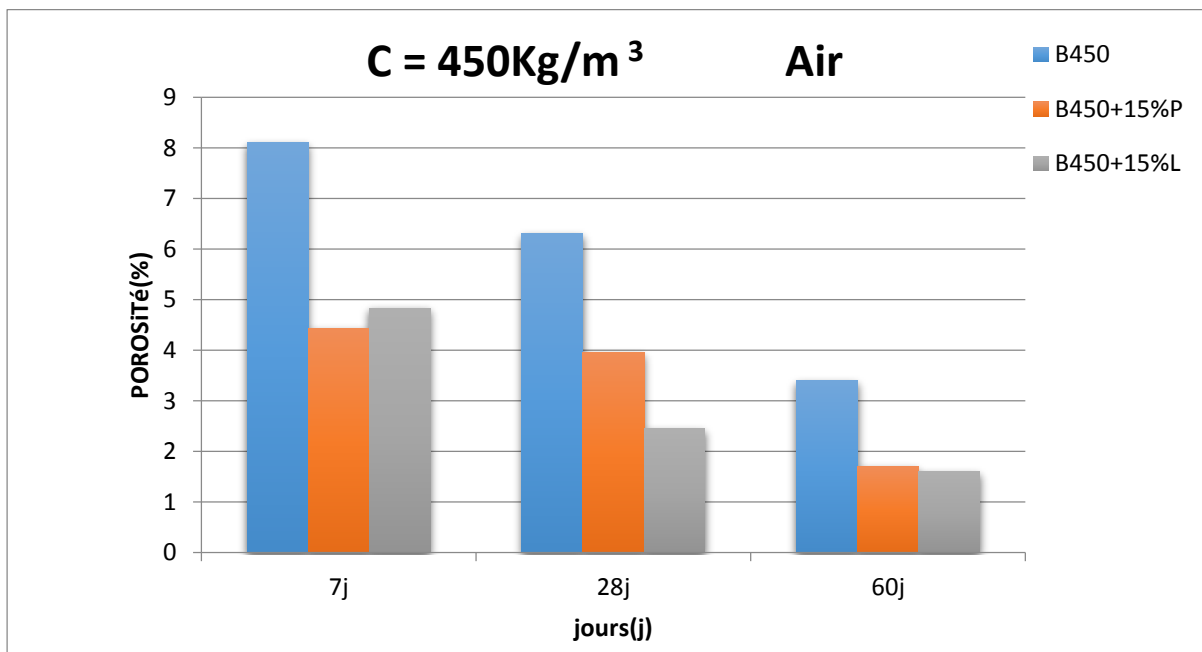


Figure V-60 La porosité (P, A, E%) des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'air

V-4-2-2-3 Conservation à l'air et à l'eau :

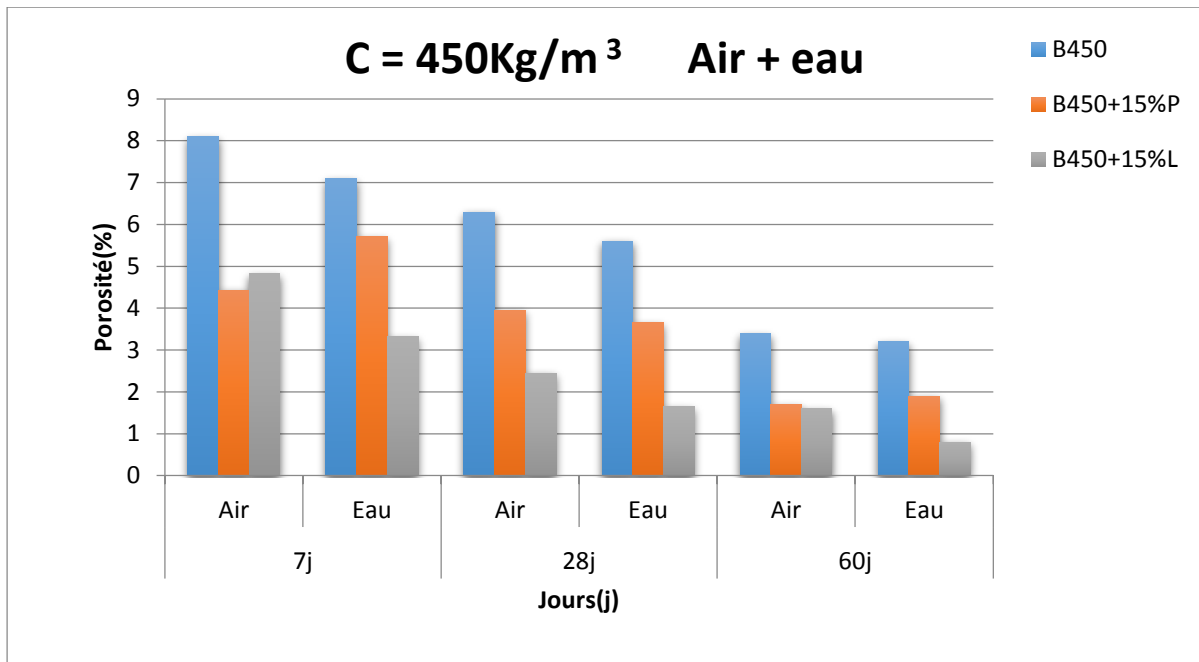


Figure V-61 La porosité (P, A, E%) des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et l'air

V-4-2-2-4 Régime de cure et conservation d'eau

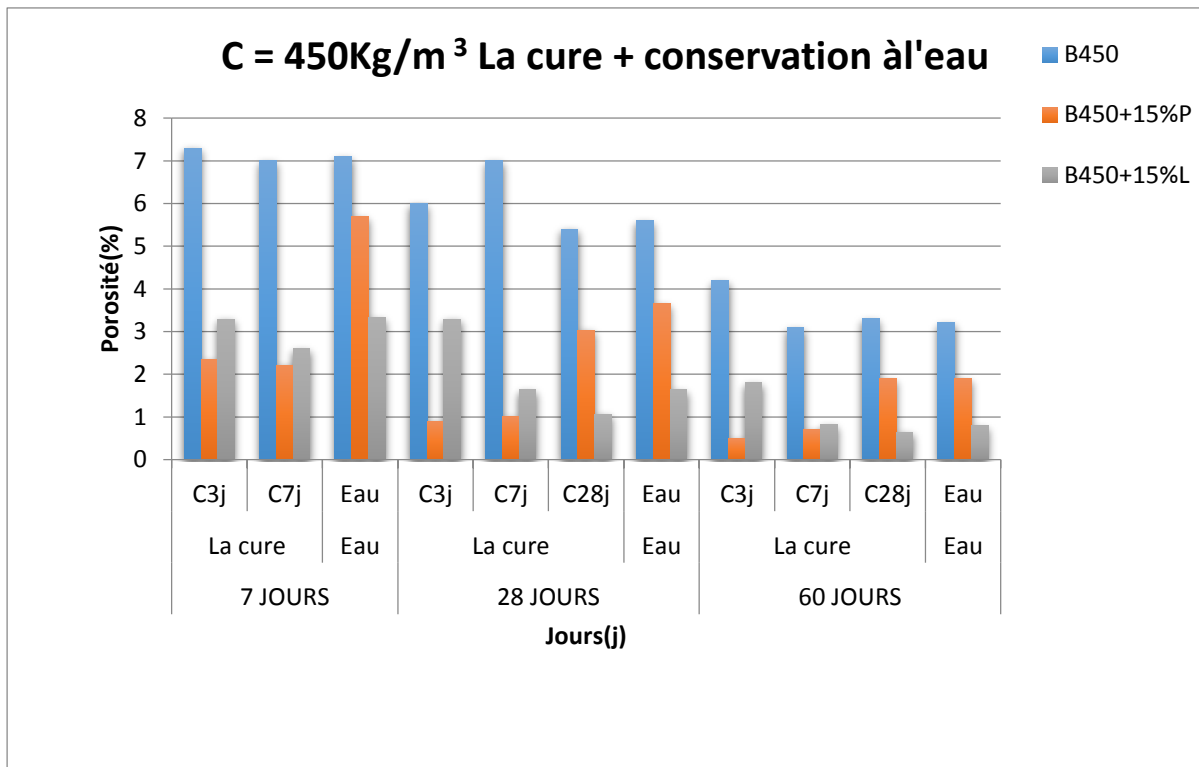


Figure V-62 La porosité (P, A, E%) des bétons étudiés (B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau régime de cure

➤ **Commentaire :**

Les figures (59 à 62) présente la variation de la porosité en fonction du temps

On observe qu'il y a une démunissions de la porosité en fonction de temps (jours) dans tout les types des bétons étudiés (B', B'15%P, B'15%L).

La porosité des bétons (B') est supérieur a celle des bétons (B'15%P, B'15%L) dans tout l'entourage des conservé et la porosité des bétons à l'air supérieure des bétons à l'eau .

On constate que les bétons sans ajout présentent également la porosité la plus grande par rapport les bétons avec ajout (laitier et pouzzolane).

V-4-2-3 la porosité(P, A, E%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et à l'air :

V-4-2-3-1 Conservation à l'eau :

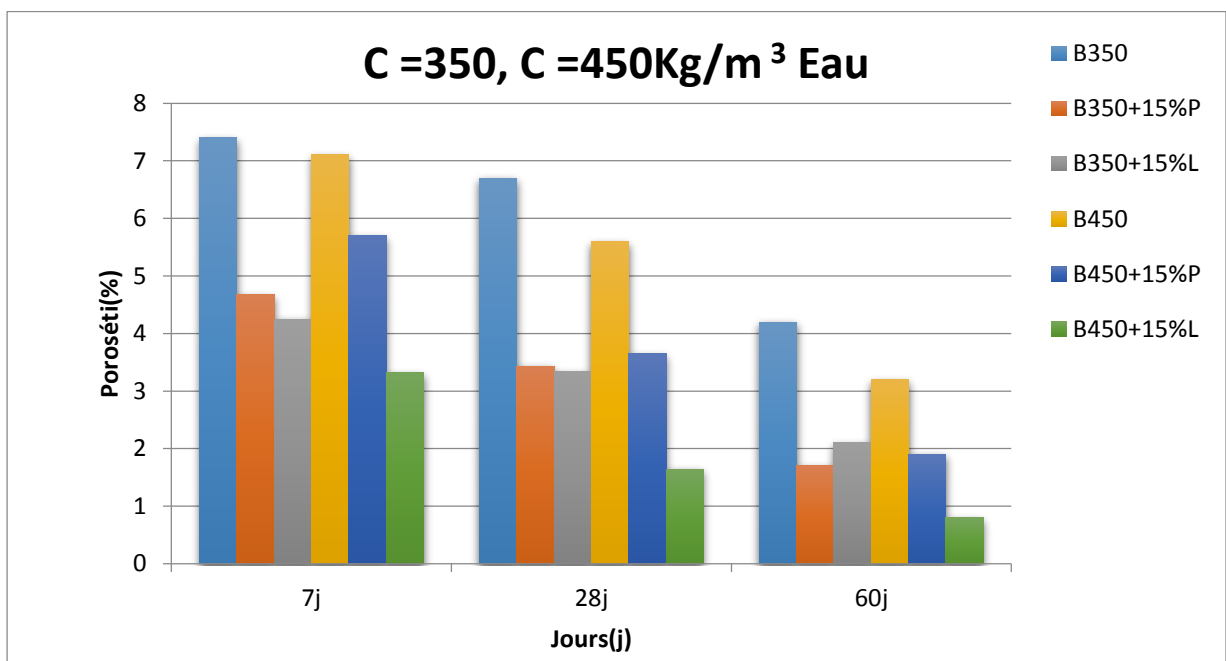


Figure V-63 La porosité (P, A, E%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau

V-4-2-3-2 Conservation à l'air :

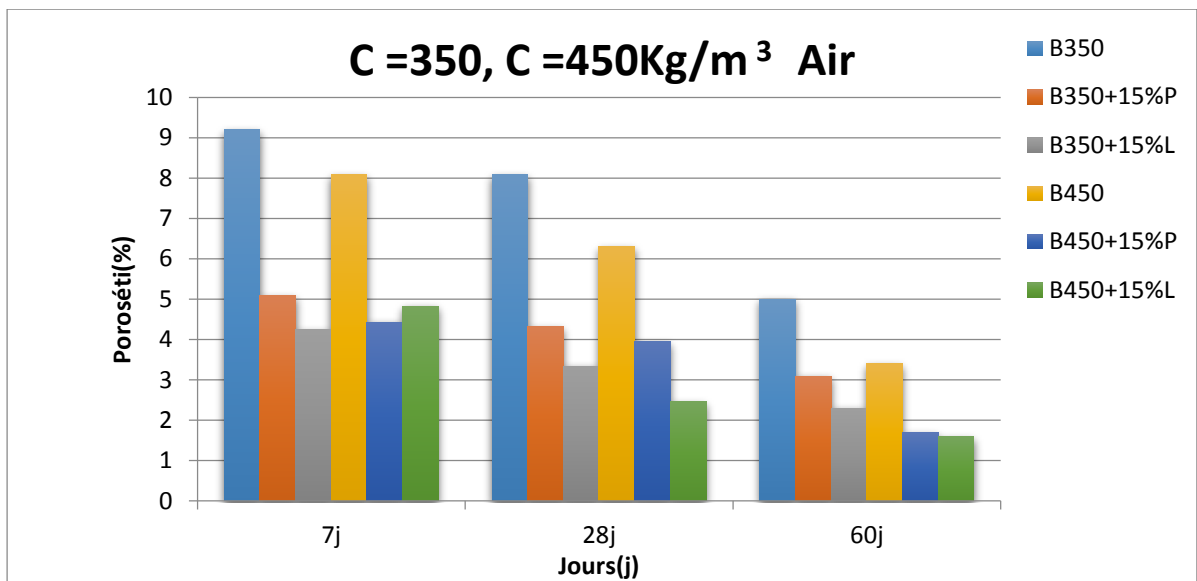


Figure V-64 La porosité (P, A, E%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'air

V-4-2-3-3 Conservation à l'eau et l'air :

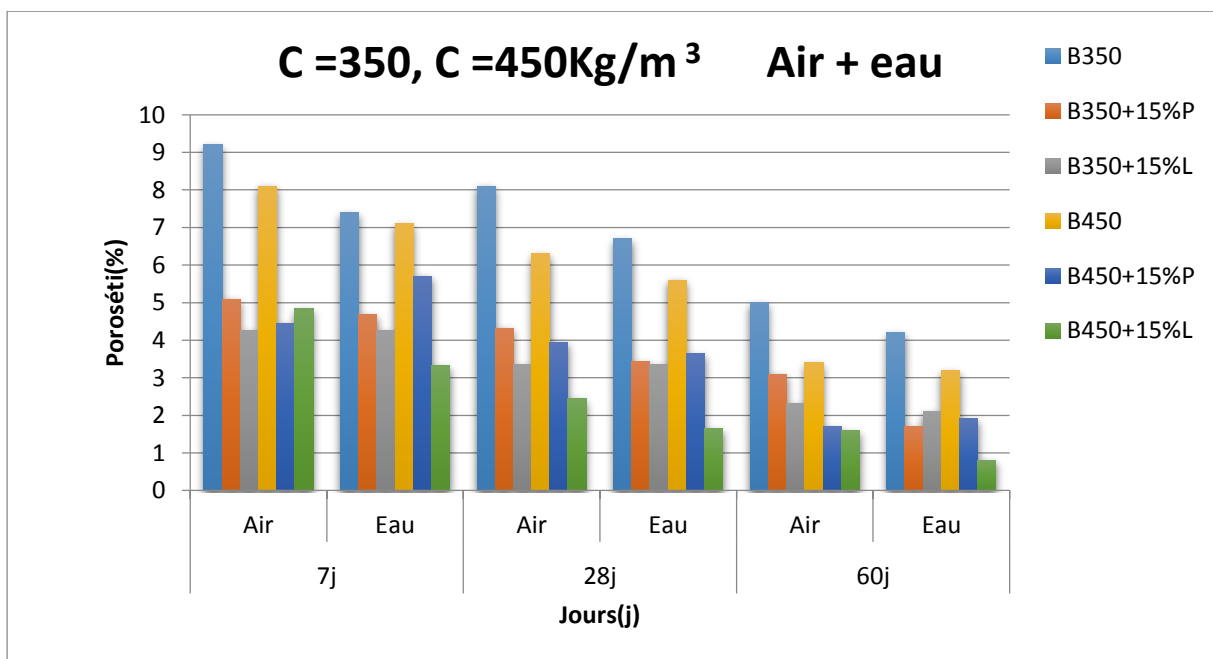


Figure V-65 La porosité (P, A, E%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau et l'air

V-4-2-3-4 Régime de cure et conservation d'eau :

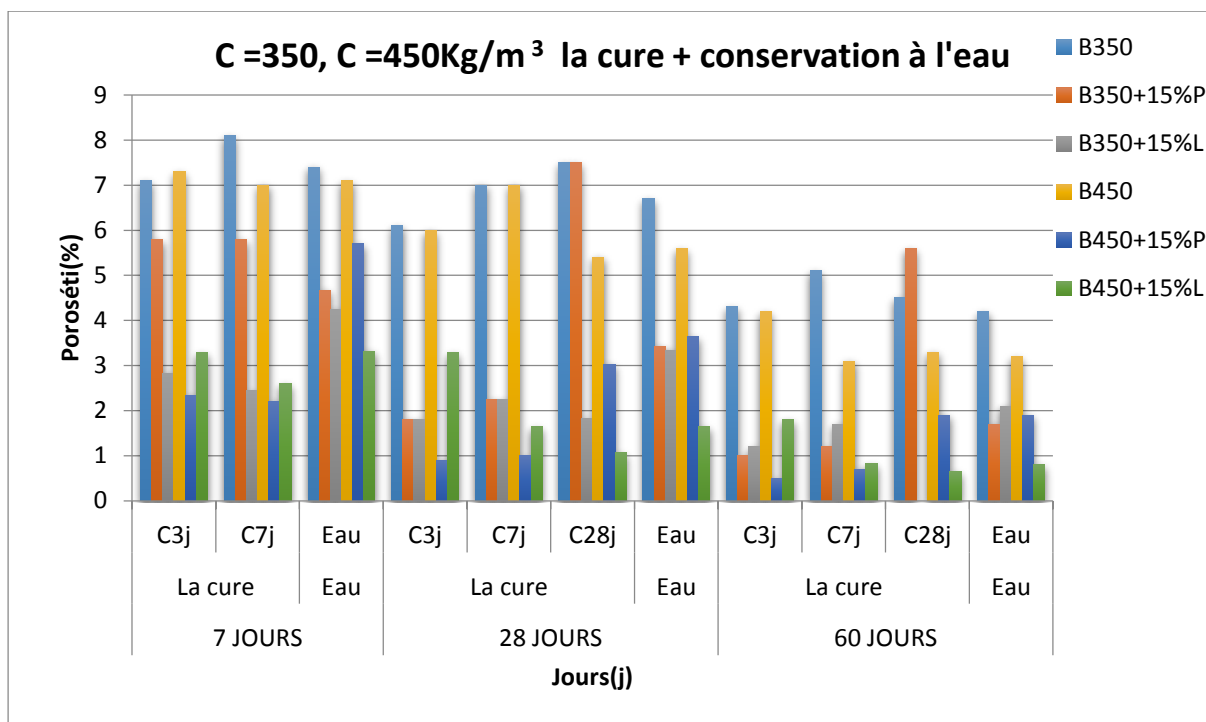


Figure V-66 La porosité (P, A, E%) des bétons étudiés (B350, B350+15%L, B350+15%P, B450, B450+15%L, B450+15%P) conservés à l'eau régime de cure

➤ **Commentaire :**

Les figures (63 à 66) présente la variation de la porosité en fonction du temps

On observe qu'il y a une démunissions de la porosité en fonction de temps (jours) dans tout les types des bétons étudiés (B350,B350+15%P,B350+15%L,B450,B450+15%P, B450+15%L).

On constate que les bétons sans ajout présentent également la porosité la plus grande par rapport les bétons avec ajout (laitier et pouzzolane) .

La porosité des bétons (B450et B350) est supérieur a celle des bétons (B450+15%P, B450+15%L et B350+15%P, B350+15%L) dans tout l'entourage des conservé

Selon les résultats obtenus, on constate que l'augmentation de dosage de ciment a Diminué la porosité des bétons.

La porosité des bétons conservés à l'air supérieure a bétons conservé à l'eau .

Conclusion générale

Conclusion générale :

D'après les résultats expérimentaux obtenus, il ressort que des variations de la résistance à la compression à différents béton préparé et les propriétés physiques (porosité) . Les divers résultats présentés dans ce rapport précisent clairement les influences majeures des aditions et la régime de cure et les différent dosage de ciment par apport à béton ordinaire.

Les résultats obtenus dans cette étude expérimentale nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

- les résistances à la compression de tous les tests de bétons augmentent régulièrement avec l'âge.
- une bonne résistance mécanique a la compression du Béton ordinaire avec les ajouts minéraux (laitier, pouzzolane).
- La résistance mécanique des bétons que conservé à l'eau élevé par rapport les bétons à conservé à l'air.
- la résistance mécanique augmente proportionnellement avec le dosage de ciment, ce qui implique une résistance mécanique supérieur de dosage $C = 450 \text{ Kg /m}^3$ à celle de $C = 350 \text{ Kg /m}^3$
- Le régime de cure à l'eau a augmenté la résistance mécanique à celle de conservation à l'air.
Régime de cure à l'eau on constate que le béton conserve à l'eau d'une durée de 28 jours présents une résistance plus élevé à celle de 3 et 7 jours. Donc la cure augmenter la résistance mécanique.
- la porosité est démunie en fonction de temps (jours) dans tout les types des bétons étudiés sans ajout ou avec ajout.
- les bétons sans ajout présentent également la porosité la plus grande par rapport les bétons avec ajout.
- il existe une relation inversement proportionnelle entre la porosité et le dosage. On constate que l'augmentation de dosage de ciment a Diminué la porosité des bétons.
- La masse volumique des bétons avec ajout (laitier, pouzzolane) plus grand que les bétons sans ajout.
- La masse volumique augmente proportionnellement avec le dosage de ciment. La masse volumique de dosage $C = 450 \text{ Kg /m}^3$ plus grand par rapport le dosage $C = 350 \text{ Kg /m}^3$

Conclusion générale

-La masse volumique des bétons avec ajout est plus grand par rapport la masse volumique de béton sans ajout.

-Enfin pour assurer une bonne qualité des bétons avec différents addition des ajouts (laitier, pouzzolane). Il faut utiliser :

- Ciment a bonne qualité .
- Assuré une bonne formulation du béton.
- Assure un bon mise en ouvre (malaxages – démoulage – la cure – essais mécanique avec des équipements étalonné).

Référence

- [01] : Chanvillard. G, 1999 : Connaissances générale sur le matériau béton, Ed. Aléas.
- [02] : Andriamanantsilavo.N.R ,2003 : comportement des matériaux cimentaires dans un coffrage : expérimentation, modélisation et simulation de la poussée et du processus de maturation, Thèse de doctorat à l'Université de Bretagne sud.
- [03] : Baron.J, Olivier.J.P et. Weiss.JC, 1996 : Chapitre 1A : Les ciments courants, Les bétons Bases et données pour leur formulation, sous la direction de Jacques .BARON, Jean-Pierre OLIVIER, Ed Eyrolles.
- [04] :Dupain.R, Lanchon.R et Saint-Arromain.J.C, 1995 : Granulats, sols, ciments et bétons, Paris : Ed Educavivre, 276p.
- [05] :P.C. AITCIN«les propriétés minéralogiques des sables de laitier de haut fourneau de fonte thomas et leur utilisation dans les mortiers en béton ». Revue des matériaux de construction, pp 185-194 -Mai 1968.
- [06] : Influence de la durée de cure humide sur les caractéristiques mécaniques de bétons d'usage courant. Materials and Structures, Vol.30, pp.284-292.
- [07] : BOMBLED J.P. (1984) La cure du béton. Publication CERILH n°280 de la revue : Ciment, Bétons, Plâtres,Chaux, n°746, pp.45-48.
- [08] :Caumette.J, 1990 : Traitement thermique du béton par l'électricité, Ed, Masson, paris.
- [09] Mohamed HASSOUNE 2012 influence de la chaleur sur les caractéristique de béton;a Laboratoire Eau et Ouvrages dans leur environnement BP230, Université de Tlemcen,13000, Algerie
- [10] : HADJI Abd ellatif 2013 Amélioration de la qualité du béton à bas (gravier roulé et gravier concassé) avec différents pourcentage ;thèse de mastère université de m'sila
- [11] : K.Hermann “ Substances exerçant une action chimique sur le béton ” Bulletin du ciment 63 (11) , pp 3-11-1995.
- [12] : J.Bai,,BB.Sabir,S.Wild and J.M.Kinuthia “ Strength development in concrete incorporating PFA and metakaolin ” Magazine of Concrete Research – Vol 52– N°03 ,pp153-162- Juin 2000.

Référence

- [13]: M.I. Khan and C.J. Lynsdale “Strength, permeability and carbonation of high performance concrete”. Cement and Concrete Research – Vol 32, pp 123-131-2002
- [14]: I.El Khadiri, A.Diouri A.Boukhari,J. Aride and F.Puertas “Mechanical behaviour of various mortars made by combined fly ash and limestone in moroccan Portland” Cement and Concrete Research – Vol 32 , pp 1597-1603-2002.
- [15]: G.Menendez and Al “Strength development of ternary blended cement with limesotone filler and blast furnace slag” Cement and Concrete Research – Vol 25 , pp 61-67-2003.
- [16]: S. Bjanja and B.Sengupta “Influence of silica fume on the tensile strength of concrete” , Cement and Concrete Research, University Kolkata – India,Vol 35, pp743-747-2005.
- [17] : C.Tasdemir “ Combined effect of mineral admixtures and curing conditions on the sorptivity 0 coefficient of concrete ” Cement and Concrete Research, Vol 33, N 10,pp1637-1642- Oct 2003.
- [18] :S.Tsivilis. J.Tsantilas, G.Kakali, E.Chaniotakis and A.Sakellariou“ The permeability of Portland limestone cement concrete” Cement and Concrete Research – Vol 33 , N°9 , pp 1465-1471-Sep 2003.
- [19]: J.M. Khatib and R.M. Clay “Absorption characteristics of metakaolin concrete” Cement and Concrete Research – Vol 34 , N°1 ,pp 19-29- Jan 2004.
- [20]: A. YEGINOBALI ,and F. T. Dilek, “Sulf”ate resistance of mortars containing silica fume as evaluated by different methods ” Fly Ash , Silca Fume, Slag and Natural Pouzzolans Concrete, Proceedings, Fifth International Conference, Milwaukee, Wisconsin, USA- Vol 2 , pp 795-813 – 1995.
- [21] : Influence de la durée de cure humide sur les caractéristiques mécaniques de bétons d’usage courant. Materials and Structures, Vol.30, pp.284-292.
- [22] : BOMBLED J.P. (1984) La cure du béton. Publication CERILH n°280 de la revue : Ciment, Bétons, Plâtres,Chaux, n°746, pp.45-48.
- [23] : BARON J., OLLIVIER J.P. (1996); Les bétons bases et données pour leur formulation, Edition Eyrolles, Paris, 522 p.
- [24] :BOUKLI HACENE S. M. A., (2010) : « Contribution à l’étude de la résistance caractéristique des bétons de la région de TLEMEN » Thèse de Doctorat à l’Université de Tlemcen, Janvier, 193p.

Référence

[25] : OLLIVIER J.P., BUIL M. (1992) ; Conception des bétons : la structure poreuse, „„La durabilité des bétons““, Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Eds., Paris.

[26] : ADAM M. NEVILLE : Propriétés des bétons, Ed. Eyrolles, 1992, p. 805.

[27]: NIELSEN L.F. (1993); Strength development in hardened cement paste: examination of some empirical equations, *Materials and Structures*, 26, N° 159, pp. 255-60.

[28] : DREUX G., FESTA J. (1998) ; Nouveau guide du béton et ses constituants, éditions Eyrolles ; Paris, 409 p.

[29] :KAWAKAMI H. (1972); Effect of gravel size on strength of concrete with particular reference to sand content, *Proc. Int. Conf. on Mechanical Behaviour of Materials*, Kyoto, vol. IV, Concrete and Cement Past Glass and Ceramics, pp. 96-103 (Society of Materials Science, Kyoto, Japan).

[30] : Z.SALIM .Influence des caractéristiques des gravier sur la qualité de béton Université de M'sila1995

Résumé :

Les caractéristiques du béton, à base de liant hydraulique, dépendent certes de la nature et des proportions des constituants mais aussi des conditions de conservation qui déterminent dans une large mesure le déroulement des réactions d'hydratation.

Si par manque d'eau, L'hydratation du liant ralenti ou s'arrête, l'évolution des caractéristiques mécaniques du béton inachevée. Le rôle de la cure est de maintenir une l'hydratation suffisante de telle sorte que les propriétés désirées soient atteintes.

L'objectif de ce travail l'élaboration d'un béton à base des différents types de d'ajouts et pourcentage, ciments locaux .des éprouvettes seront préparées sous différents mode de conservation. Les propriétés physico-mécaniques seront comparés est étudiées.

Mots Clé :

la cure , béton, ciments, ajouts

ملخص:

خصائص الخرسانة ، استنادا إلى الرابط الهيدروليكي ، يعتمد بالطبع على طبيعة و نسب المكونات ولكن أيضا في ظروف الحفظ التي تحدد إلى حد كبير على التقدم الإماهة .

إذا نقصت المياه ، الرابط تباطأ أو توقف ، تتغير الخواص الميكانيكية للخرسانة التي لم تكتمل. دور العلاج هو الحفاظ على ترطيب كاف بحيث يتم التوصل إلى الخصائص المطلوبة .

والهدف من هذا العمل وضع قاعدة محددة لأنواع مختلفة من الإضافات ونسبة عينات الأسمنت المحلية يتم إعدادها في مواضع مختلفة للحفظ. يتم دراسة خصائص الفيزيائية الميكانيكية مع المقارنة

كلمات المفتاح: المعالجة الخرسانة الاسمنت الإضافات.

Abstract:

The characteristics of concrete, based on a hydraulic binder, of course depend on the nature and proportions of the components but also the preservation conditions which determine in large measure the progress of hydration reactions.

If a lack of water, hydration of the binder slowed or stopped, changing mechanical properties of unfinished concrete. The role of the treatment is to maintain a sufficient hydration so that the desired properties are reached.

The aim of this work to develop a concrete base to the different types of additions and percentage .Des local cement specimens are prepared under different conservation mode. The physico- mechanical properties will be compared is studied.

Key words: the cure, concrete, cement, additions